Reconnaissance et essais géotechniques

Bilan des 11J021 et 11P061

Reiffsteck Ph.
LCPC dept. GER groupe CSROG

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Plan

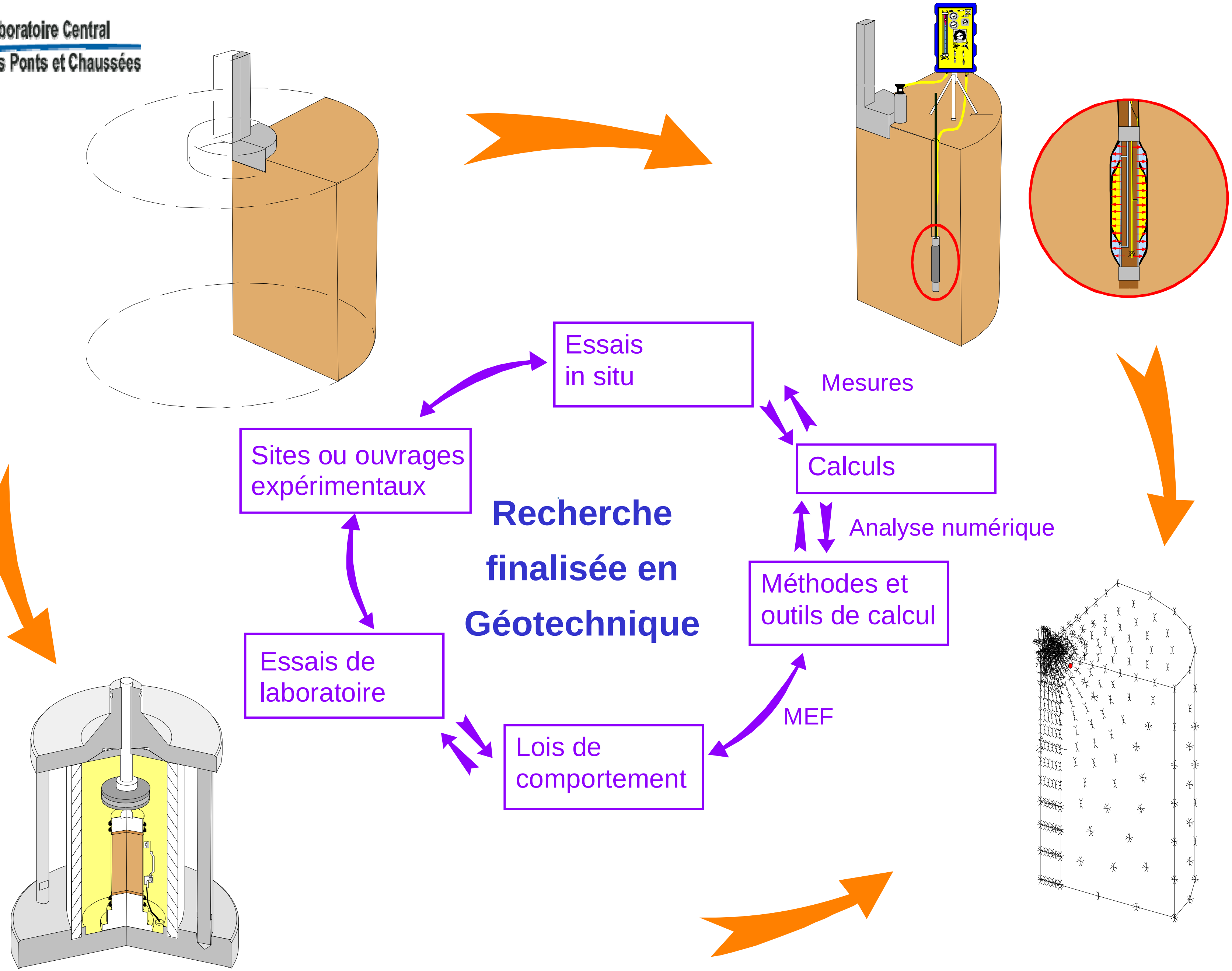
- **Objectifs**

- **Prélèvement**
  - CPS
  - Laval
  - Nouveau carottier

- **Anisotropie**

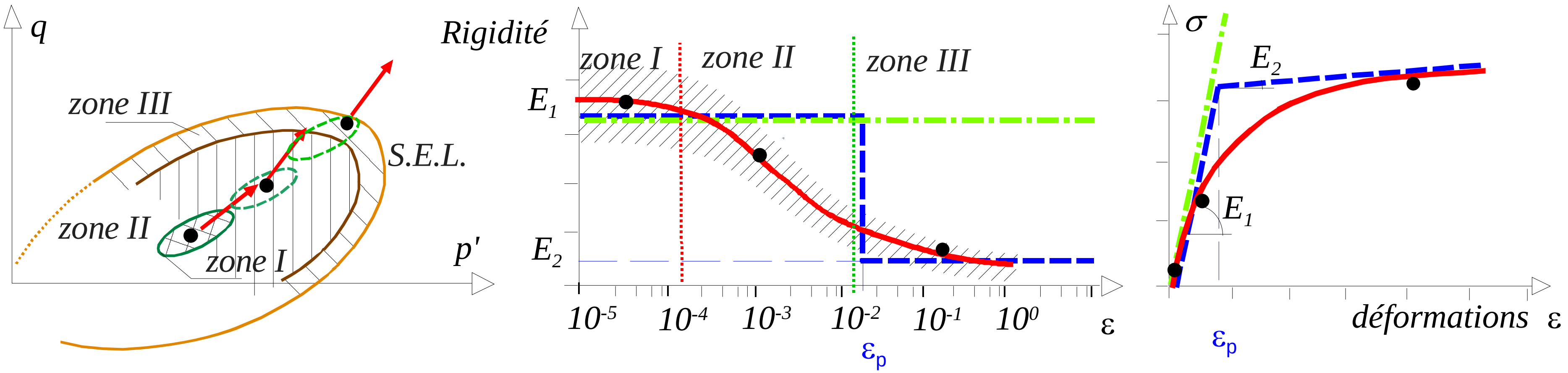
- **Essais mécaniques**
  - Triaxial in situ
  - Pressiomètre autoforeur
  - Chargement de pointe
  - Perméafor
  - Paramètres de forage

- **Normalisation**
  - réflexion sur l'influence des nouvelles normes européennes


Essais
in situ
Mesures
Sites ou ouvrages
expérimentaux
Calculs
Recherche
finalisée en
Géotechnique
Analyse numérique
Méthodes et
outils de calcul
Essais de
laboratoire
MEF
Lois de
comportement

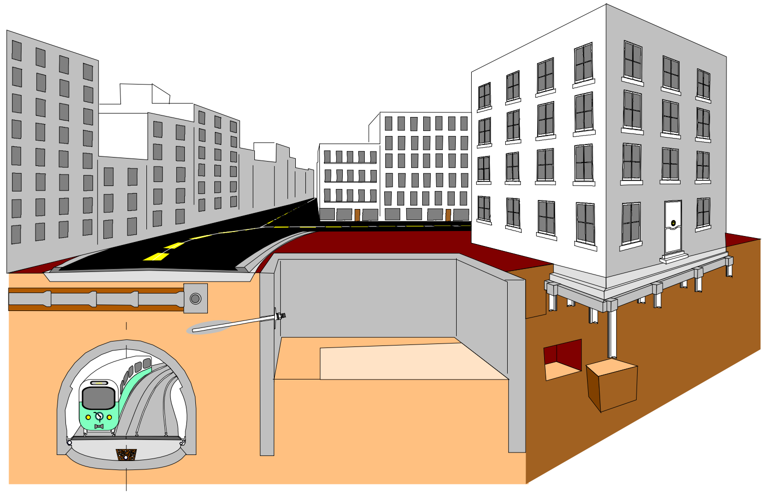
Besoins de la pratique

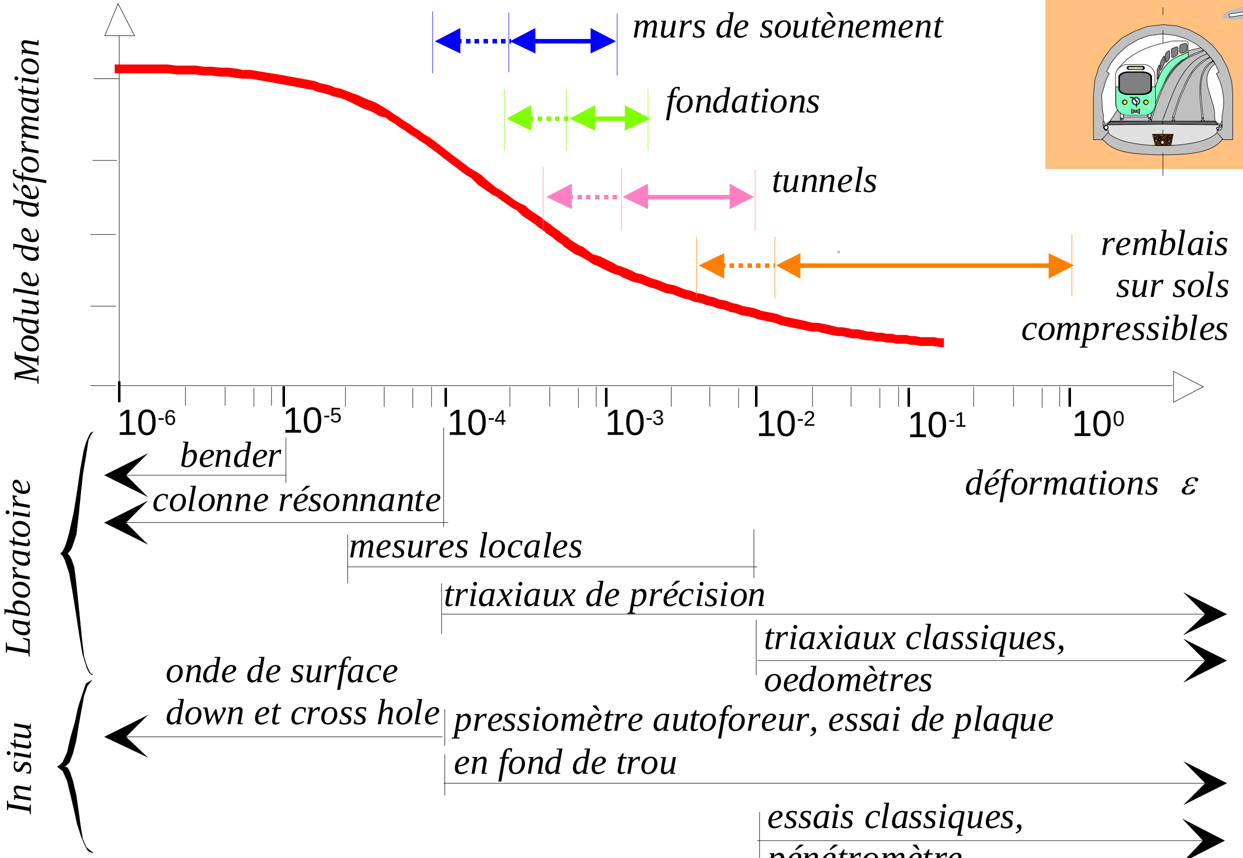
- Compréhension du comportement du matériau selon le type d'essai



Besoins de la pratique

- Détermination des modules de déformation



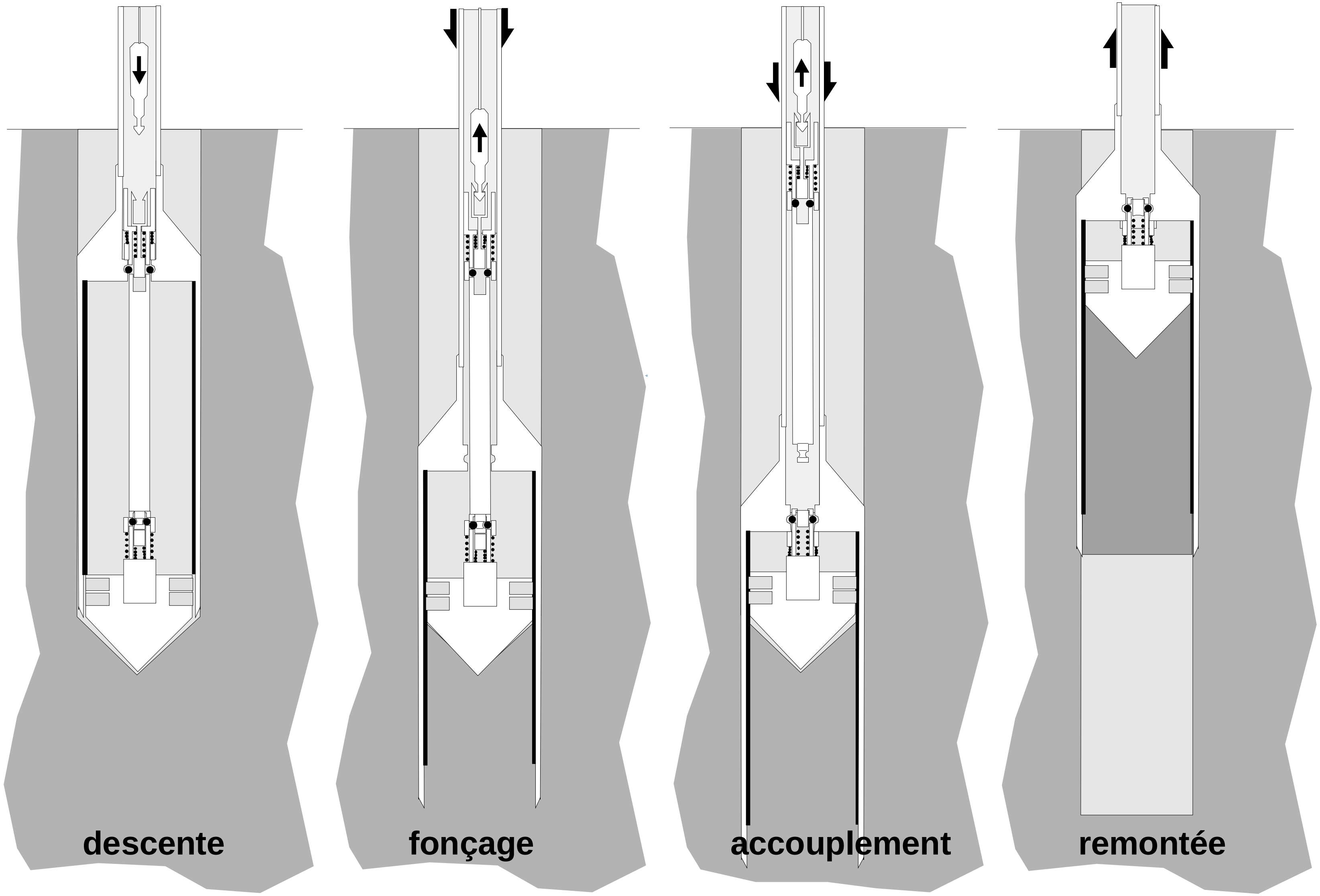


Actions entreprises : Prélèvement

- CPS (LR Rouen – LCPC)
- Laval (LR Rouen – LCPC)
- Nouveau carottier (LCPC – LR Rouen – LREP – LR Blois)

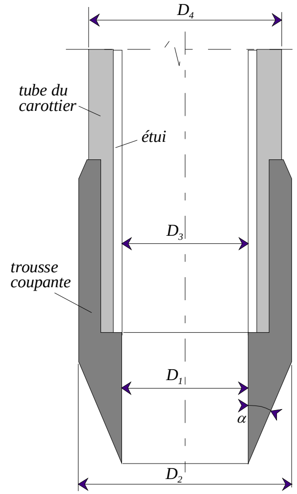
CPS

- phasage du carottage **= n'est pas stationnaire**

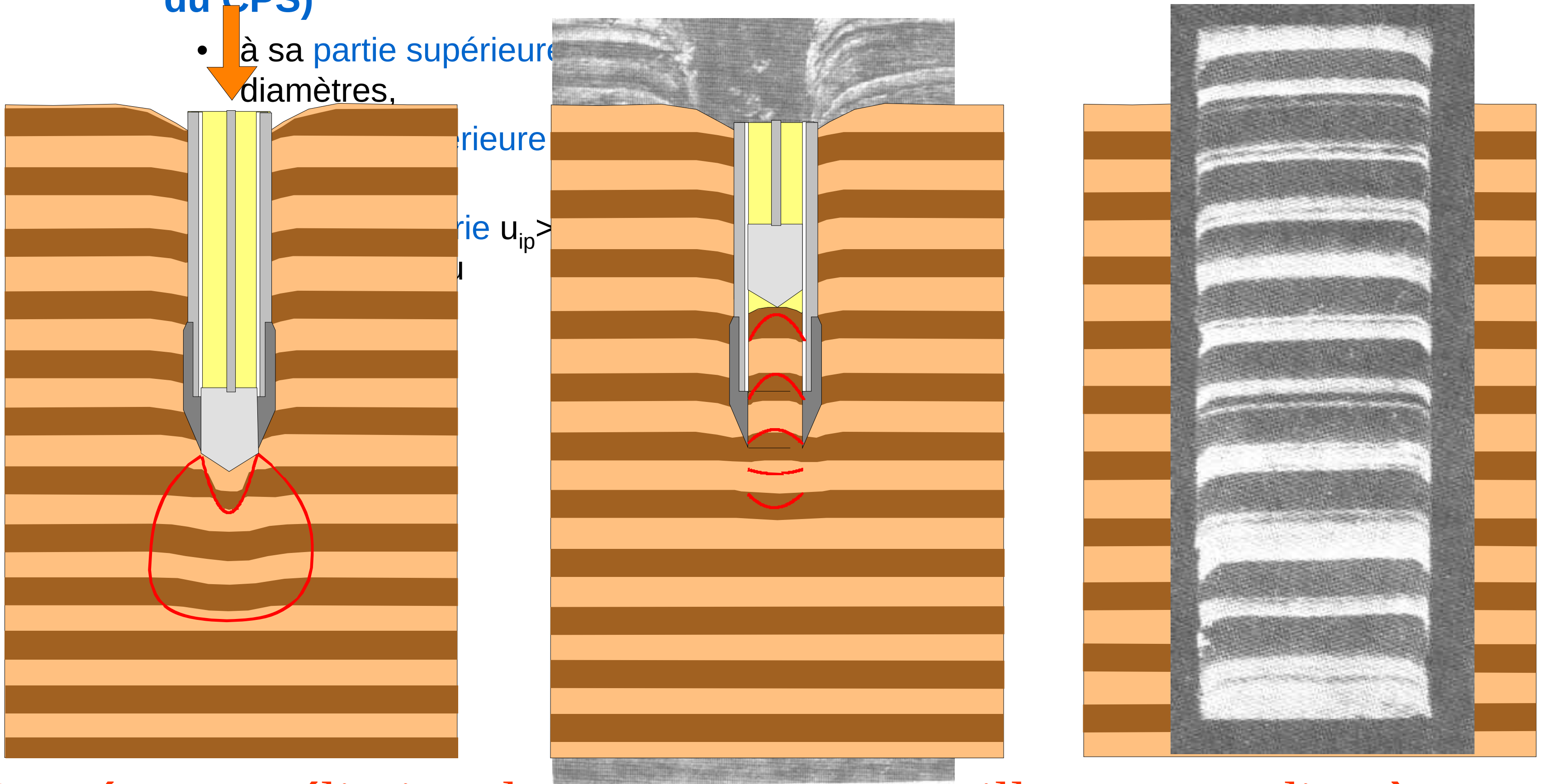


Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Effet du prélèvement



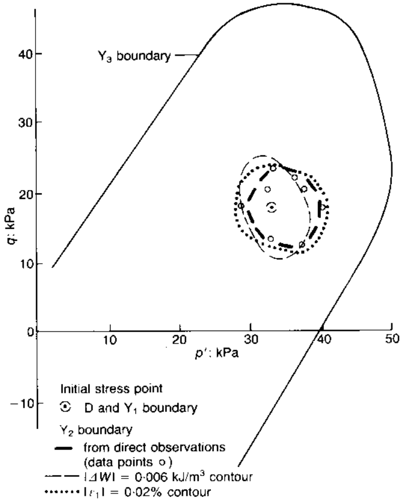
– **l'échantillon est remanié (cas du CPS)**
  - à sa partie supérieure … diamètres,
  - …rieure
  - …rie u_{ip}>
  - …u

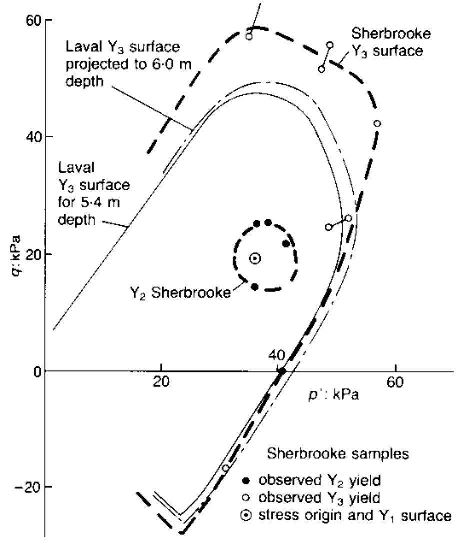


Conséquence éliminer la périphérie et travailler en gros diamètres

Effet du prélèvement

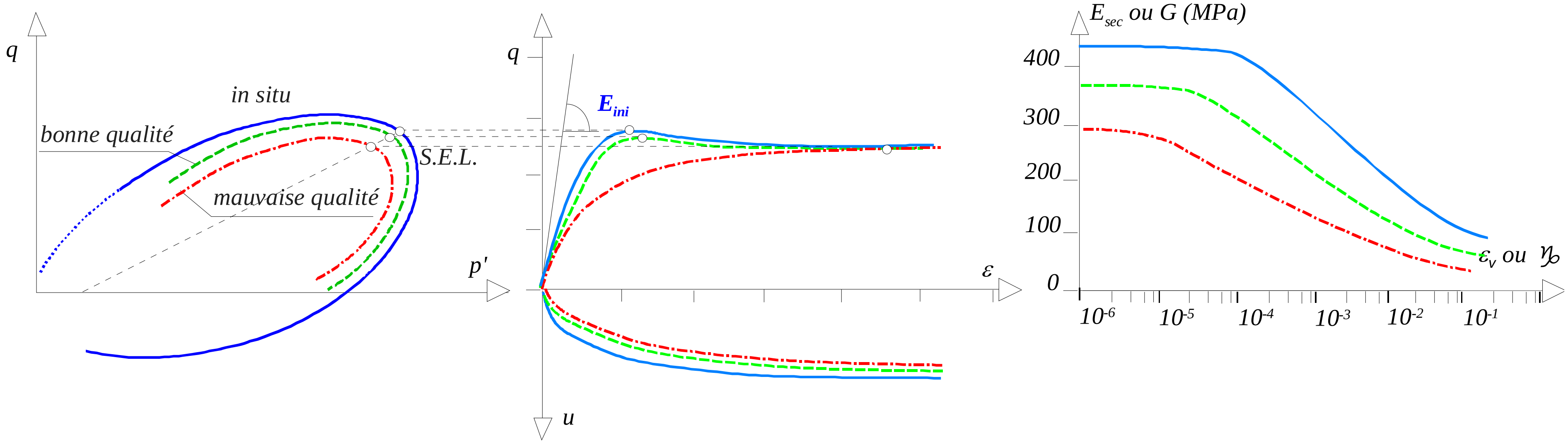
- Effet sur la caractérisation mécanique





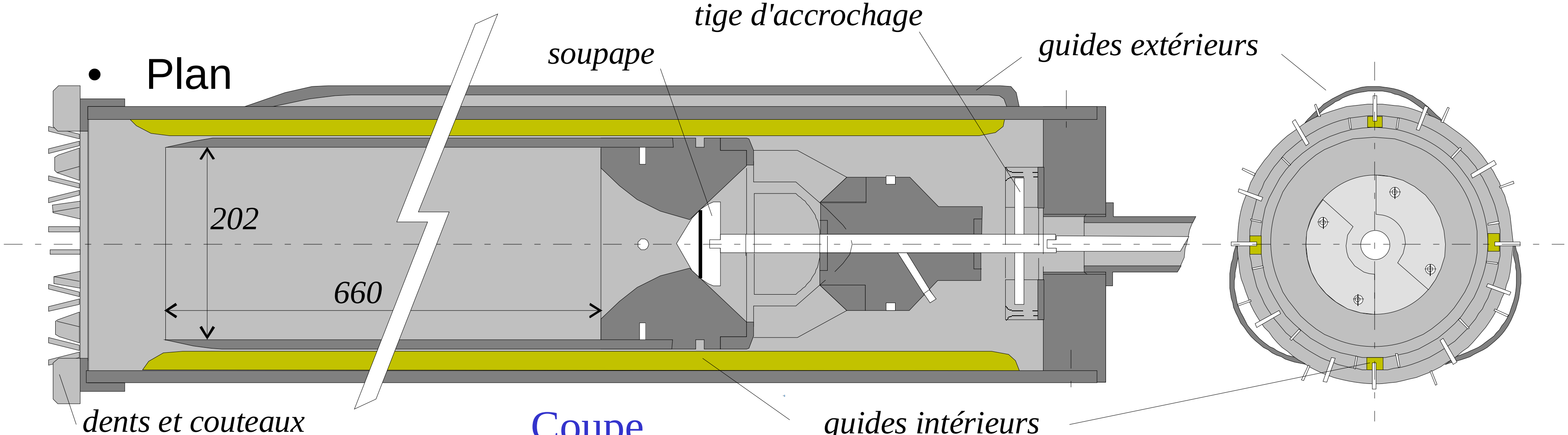
Bothkennar clay

(Smith et al., 1992)

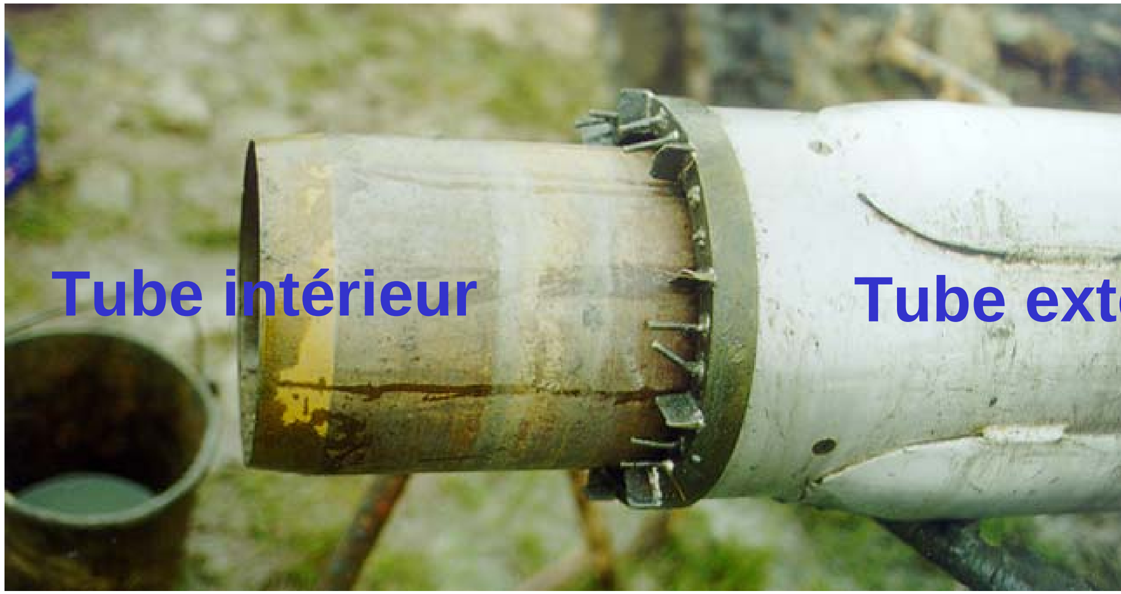


Carottier Université Laval

- Vue du carottier de Rouen (CECP/LRPC)
- Plan

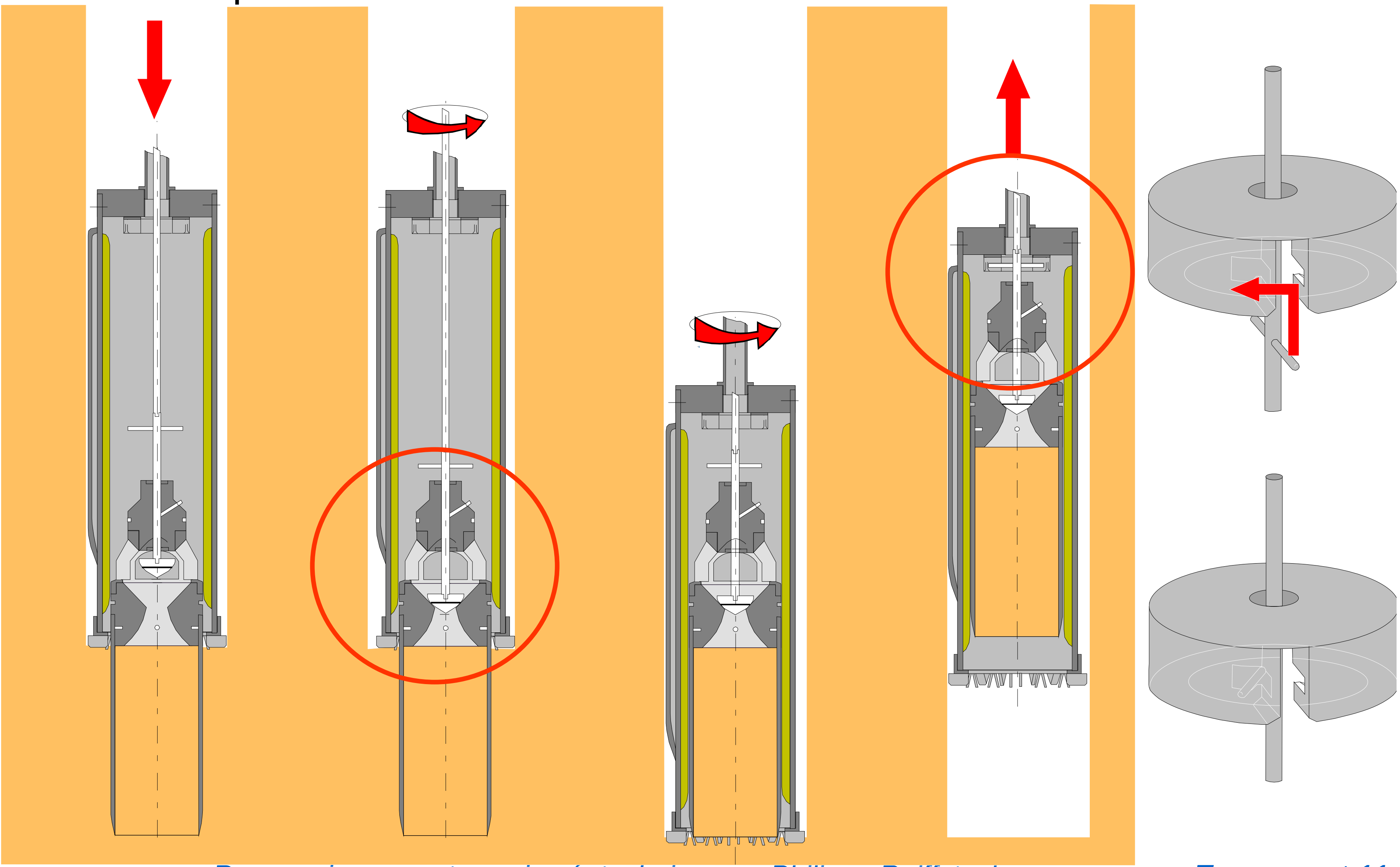


Coupe



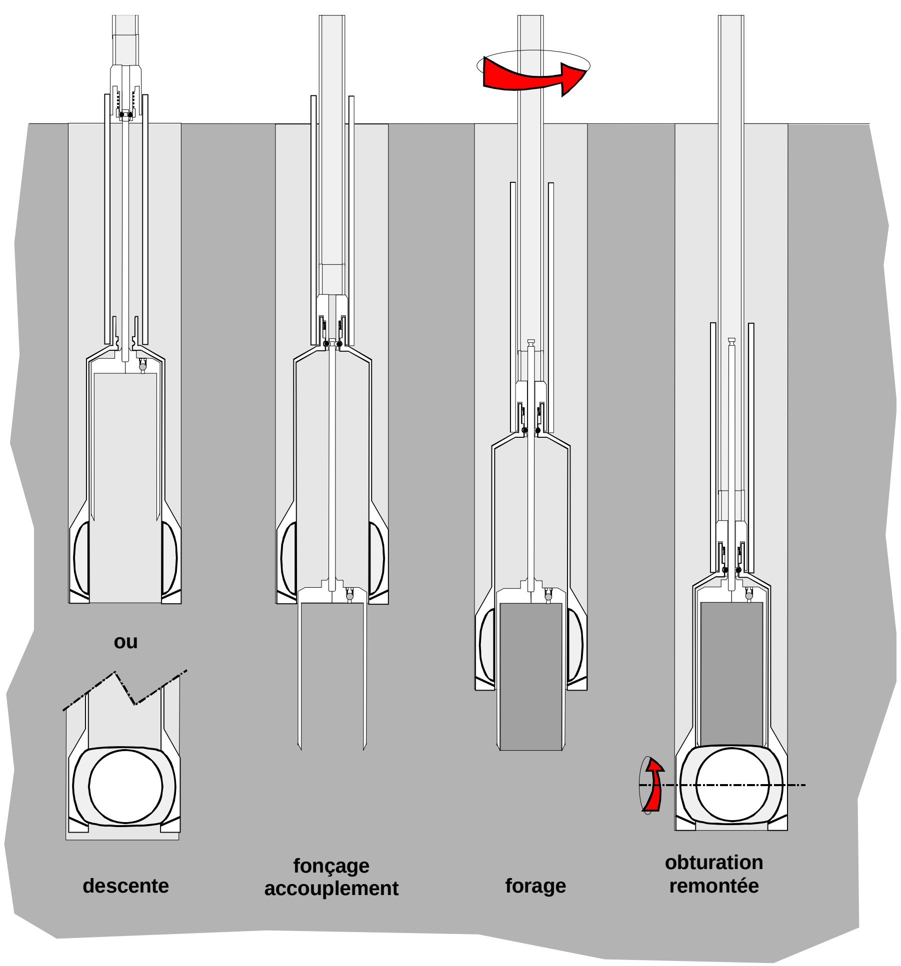
Carottier Université Laval

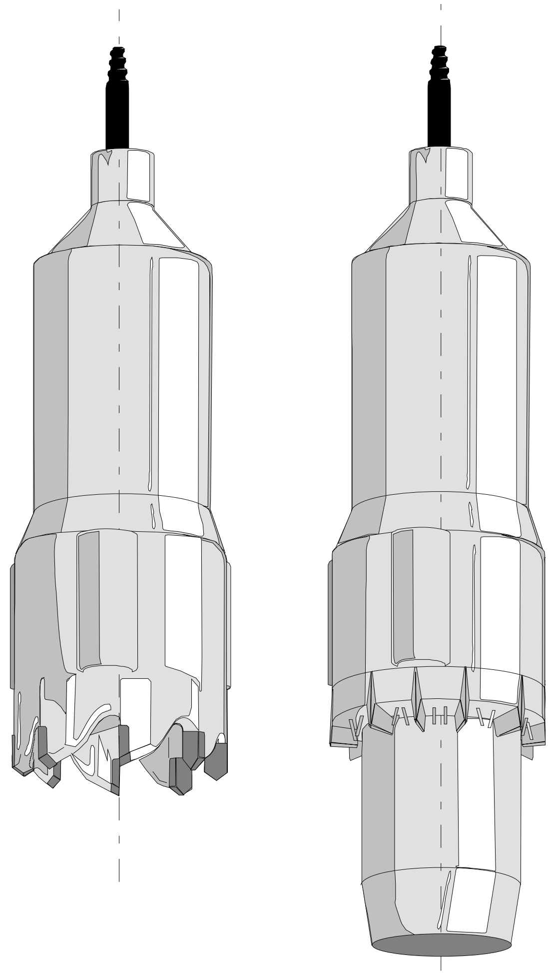
- Principe d'utilisation



Carottier A+

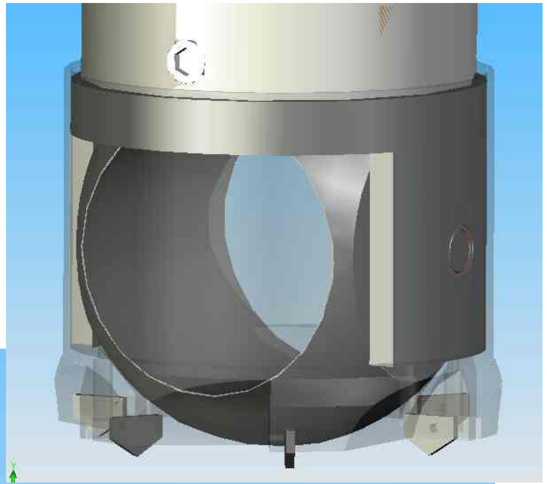
- À boisseau sphérique

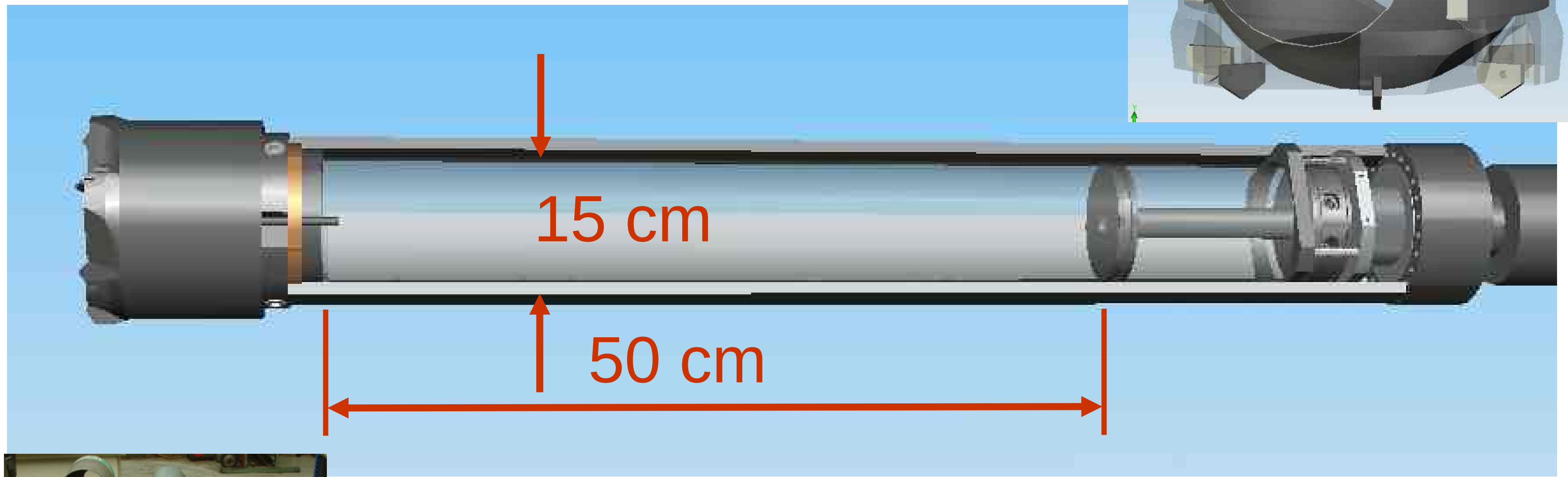




Carottier A+

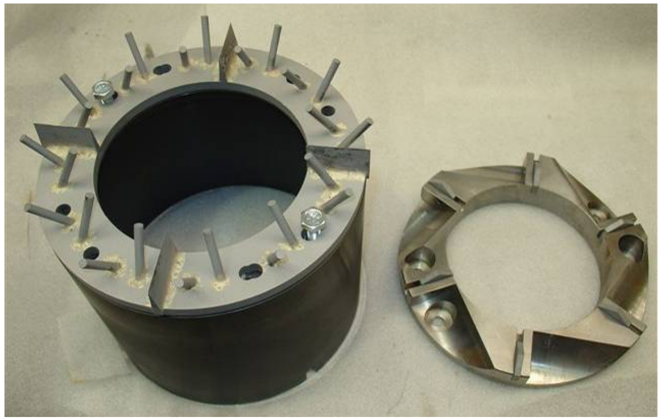
- Boisseau sphérique





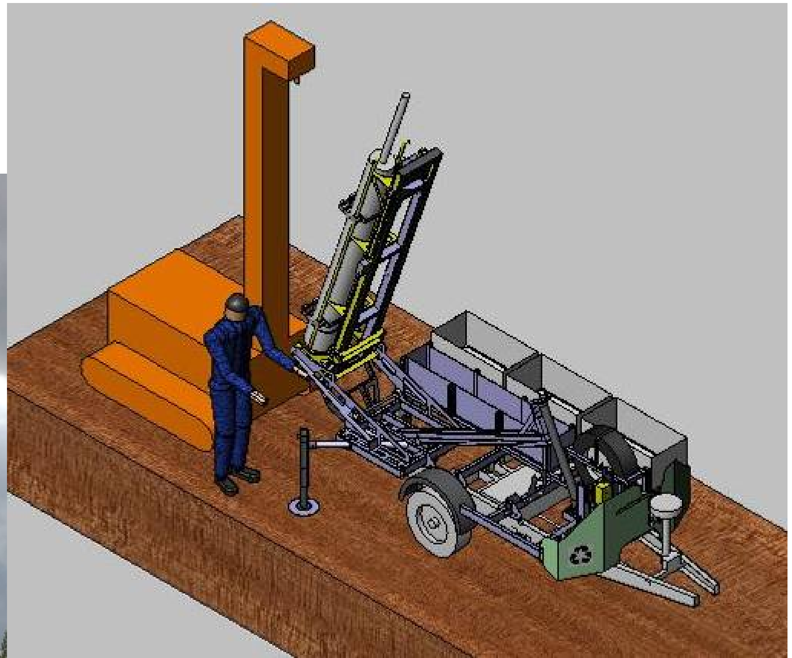






Carottier A+

- ergonomie et premiers essais 10/03/2010 (CECP Angers, LRPC Rouen, Blois)









Actions entreprises : Anisotropie

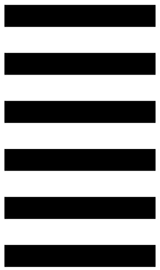
- Marnes (LR Aix)
- Inhérentes et induites (LCPC)

Anisotropie

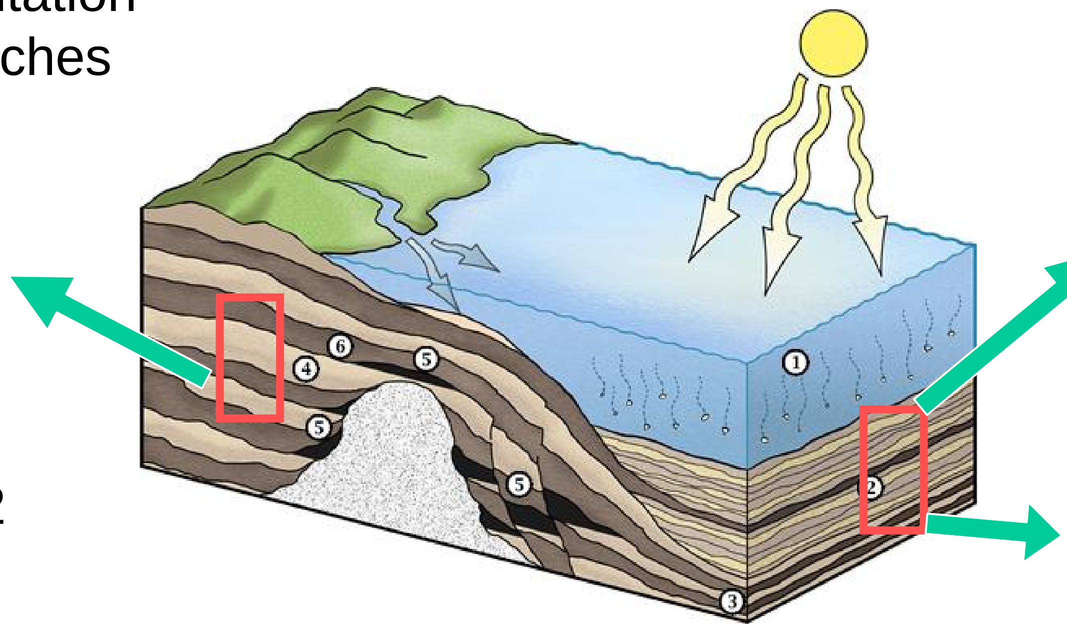
La formation de l'anisotropie des sols

Surcharges naturelles

Sédimentation
par couches



TYPE 2



Source: www. flatplanet.wikispaces.com

Surcharges 1



TYPE 1

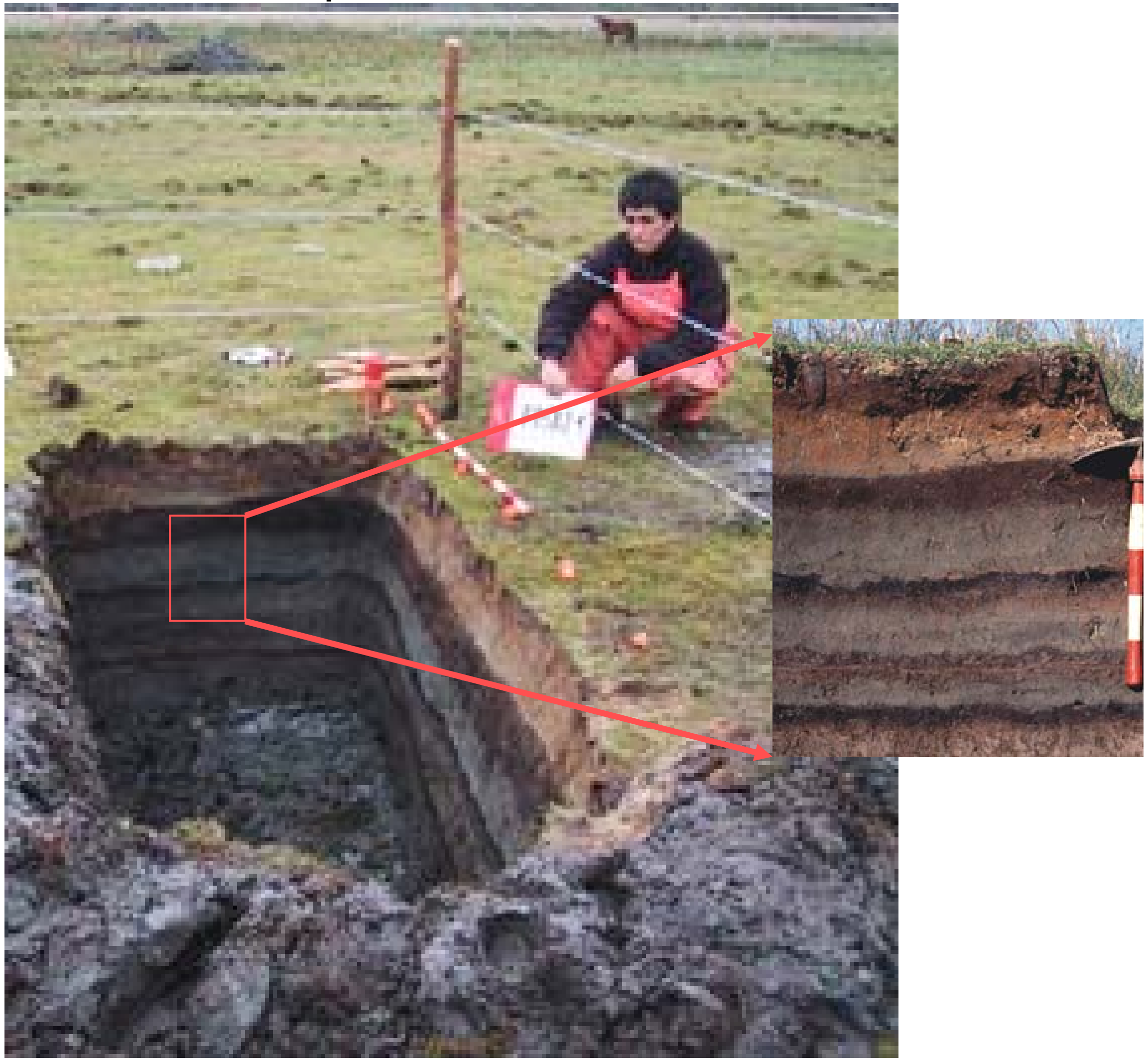
Surcharges 2

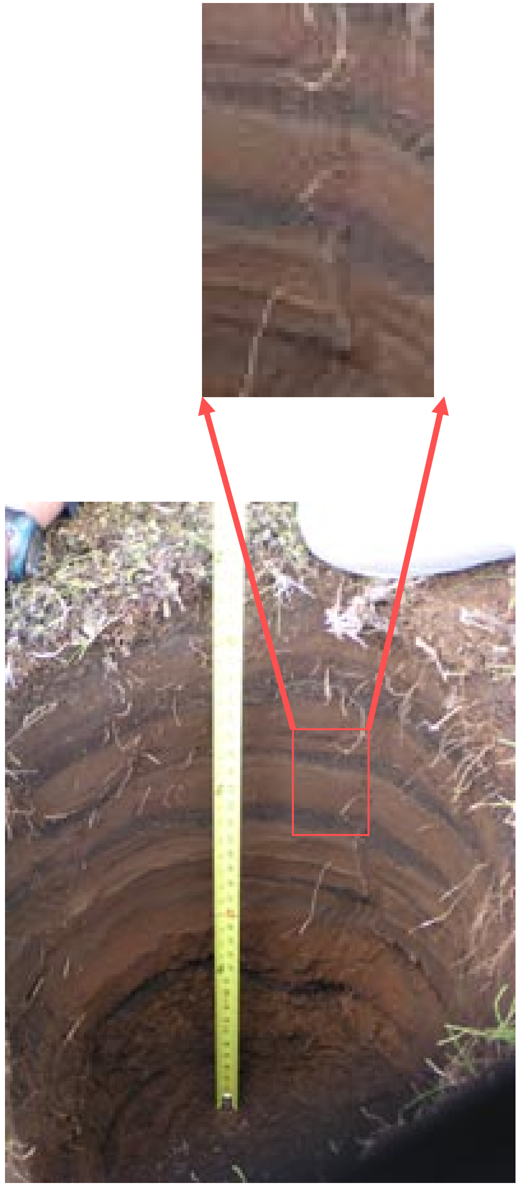
complexicité structurelle des sols
-> comportement anisotrope

Surcharge 2 > Surcharge 1

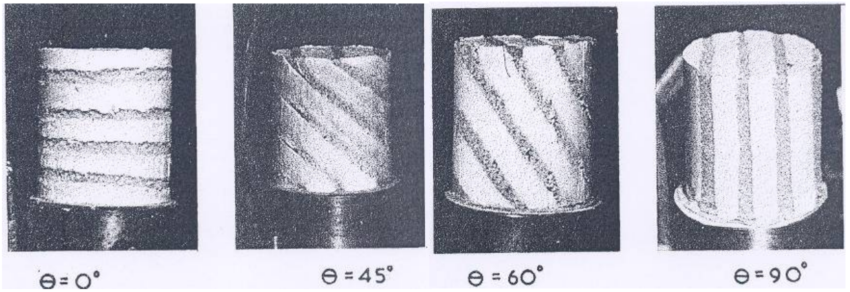
Anisotropie

l'anisotropie se trouve souvent dans le sol …





Anisotropie

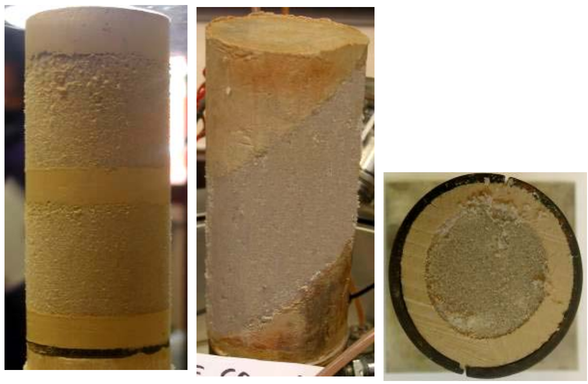


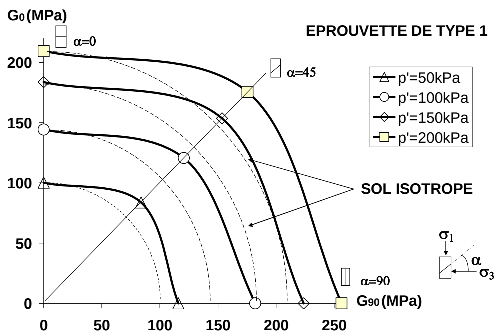
Etudes avec plusieurs types de sols, par exemple :

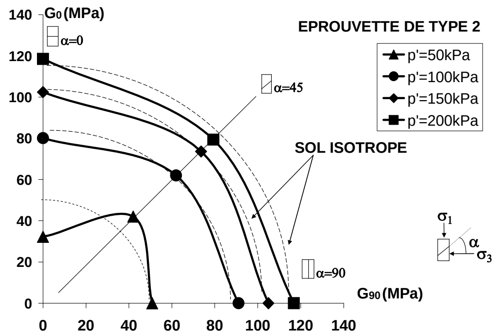
• argile naturelle anisotropiquement consolidée: Wolf K. (1945), Barden L.[1963], Sékiguchi H.[1977], Magnan J.P.[1982], Newson T.A.[1997], Houslby G.T. [2005] etc.

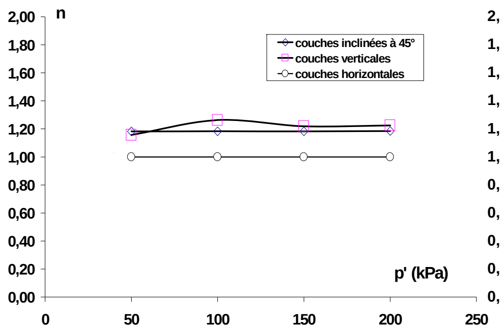
• sol remanié en laboratoire: Murthy K.[1979], Gerrard C.[1982], etc.

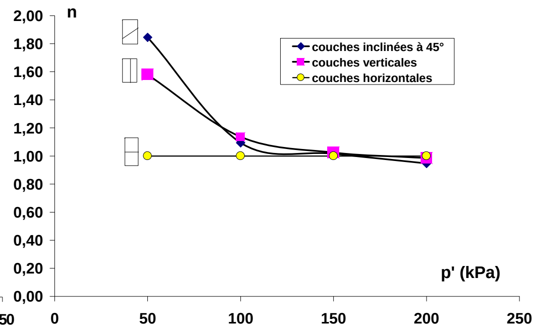






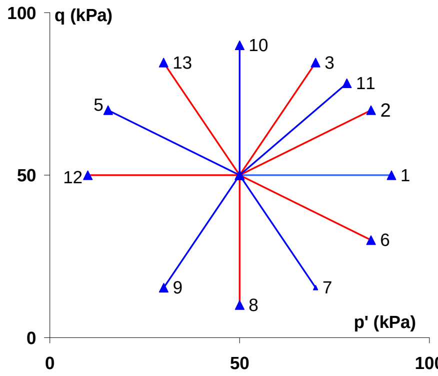


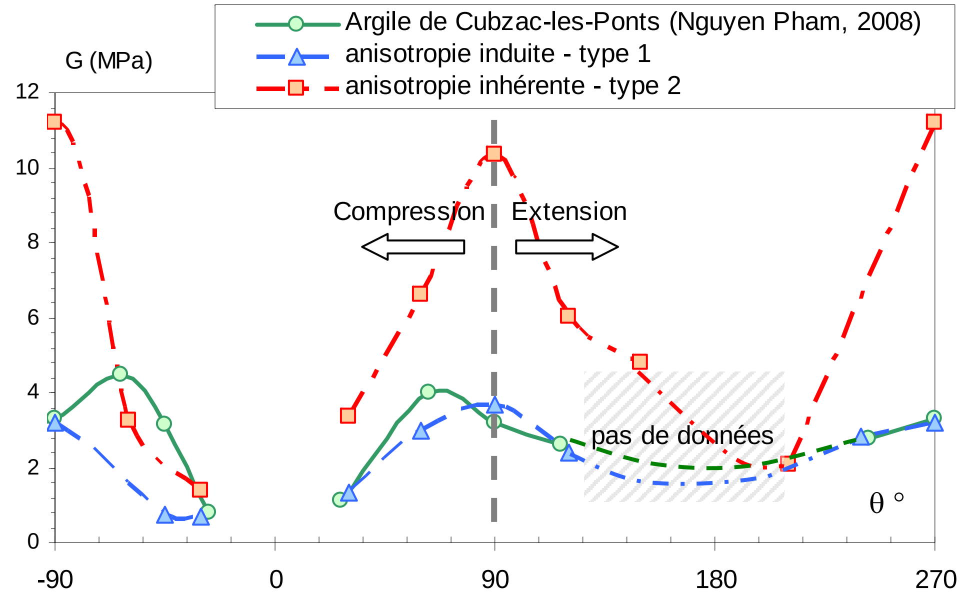


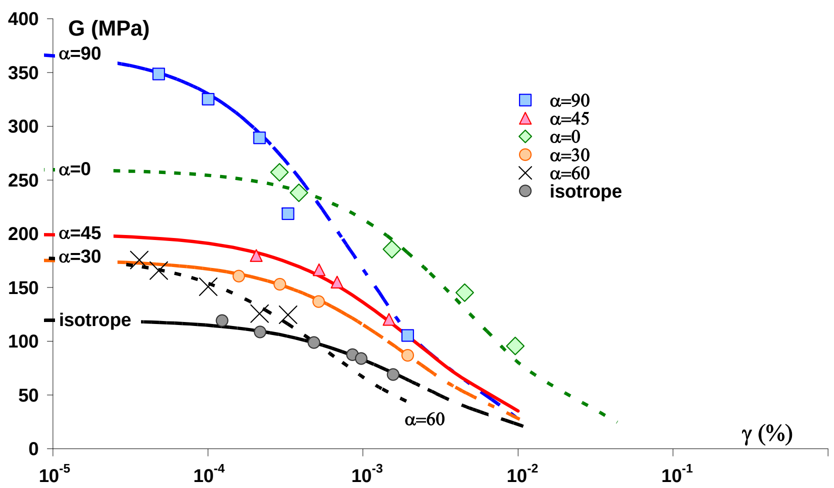


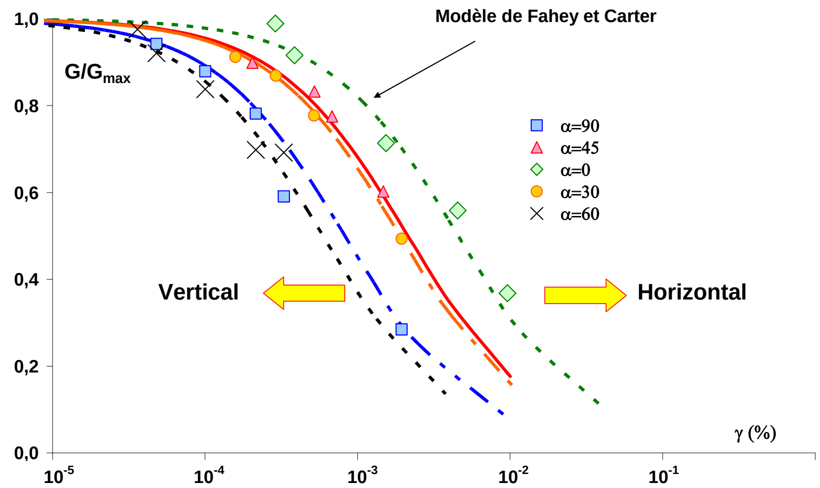
Anisotropie

- Dégradation des modules des éprouvettes de type 1



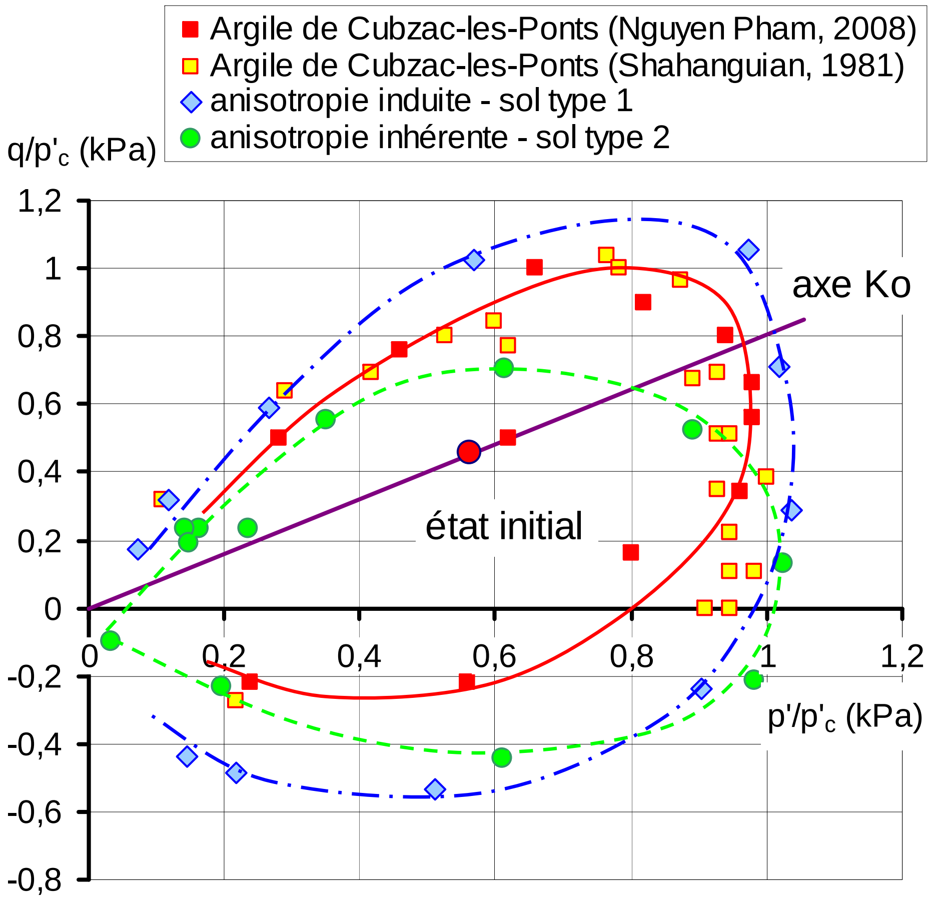




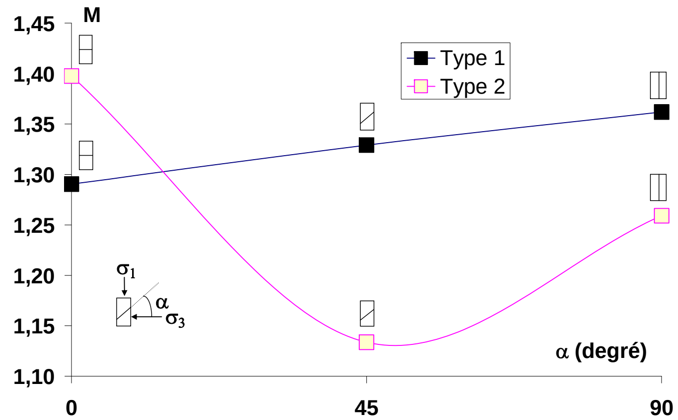


Anisotropie

- Surfaces de charge expérimentales pour les éprouvettes anisotropes



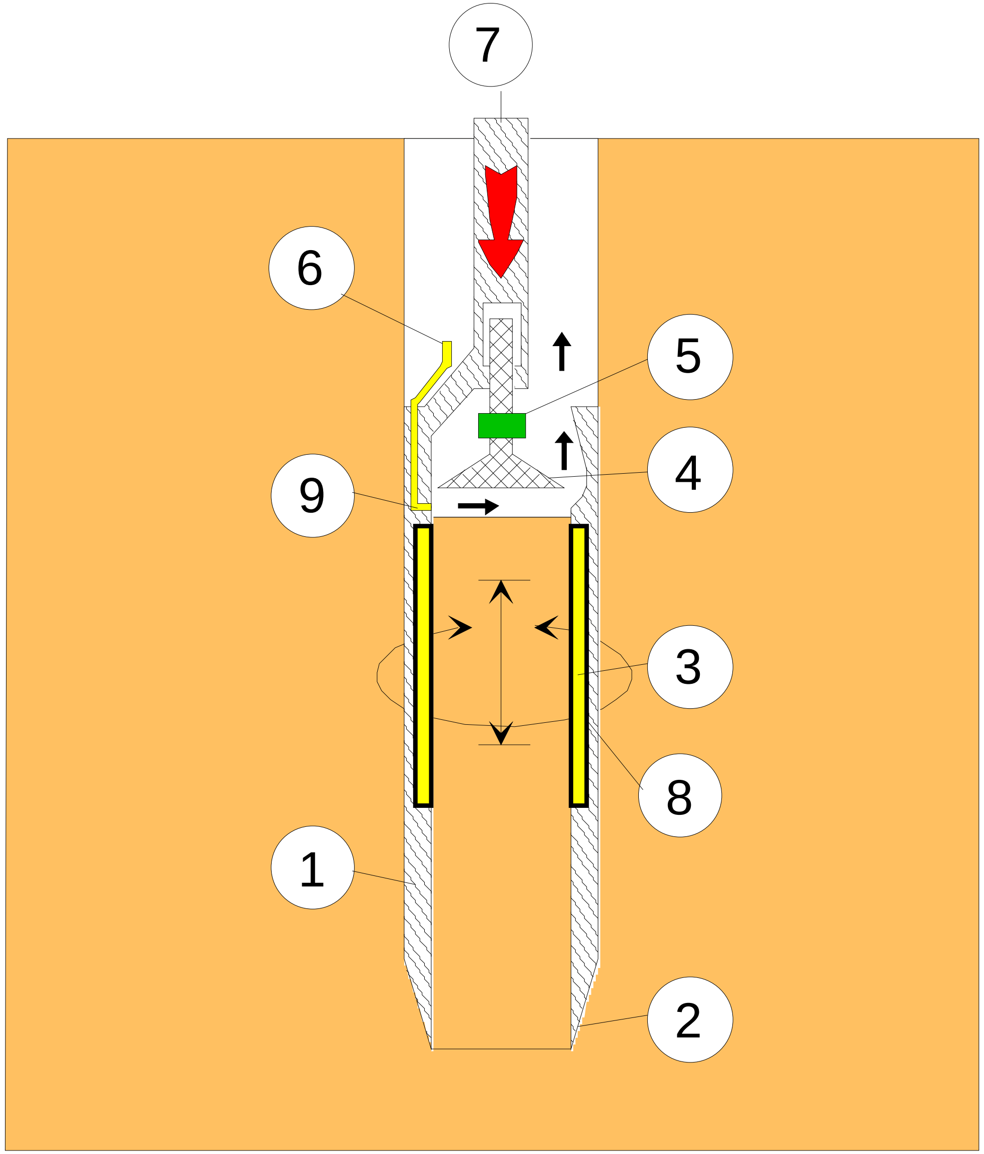
- Variation du paramètre d'état critique M en fonction de l'inclinaison des couches



Actions entreprises :
Essais mécaniques

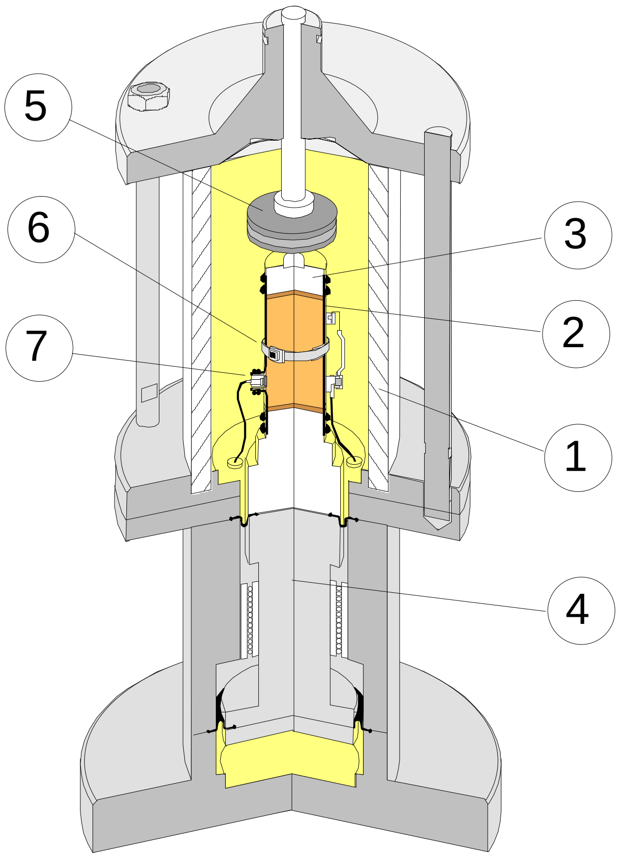
- Triaxial in situ (LCPC)
- Pressiomètre autoforeur (LR St Brieuc – LCPC)

Essais triaxiaux in situ

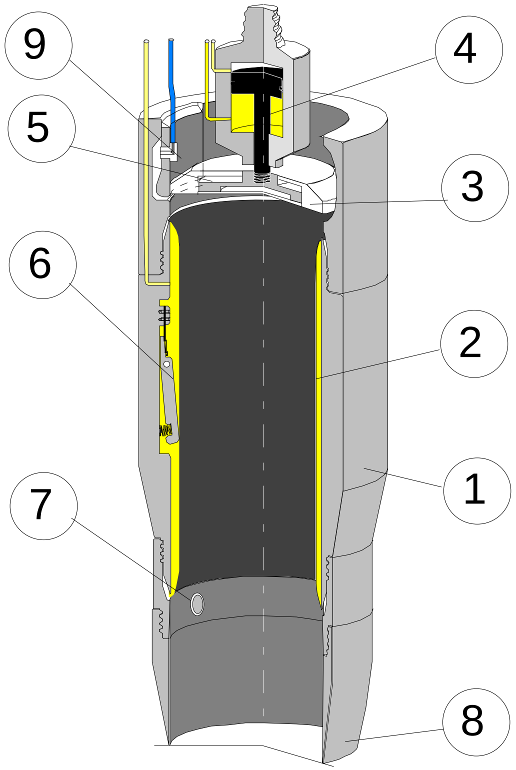


LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

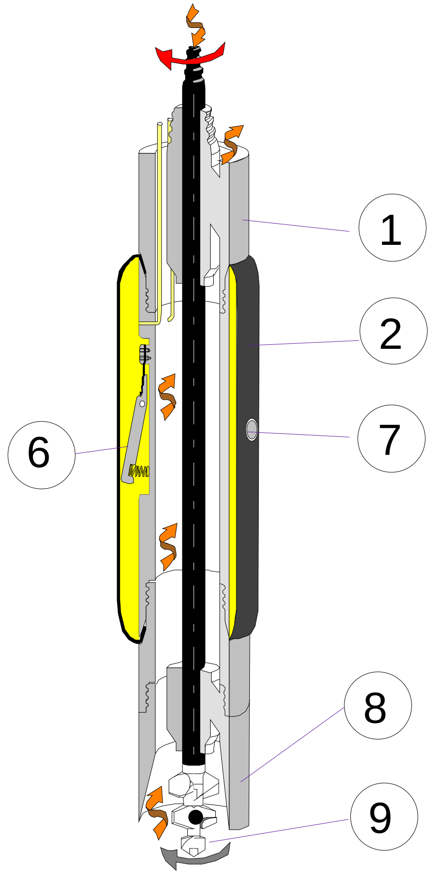
Essais triaxiaux in situ



cellule Bishop Wesley



triaxial en place

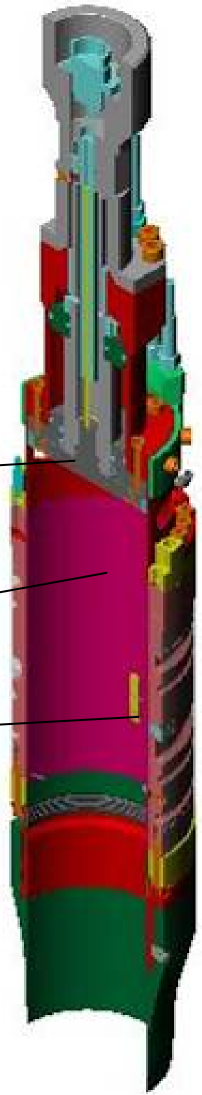


pressiomètre autoforeur

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Essais triaxiaux in situ
(LCPC -CECP Rouen)

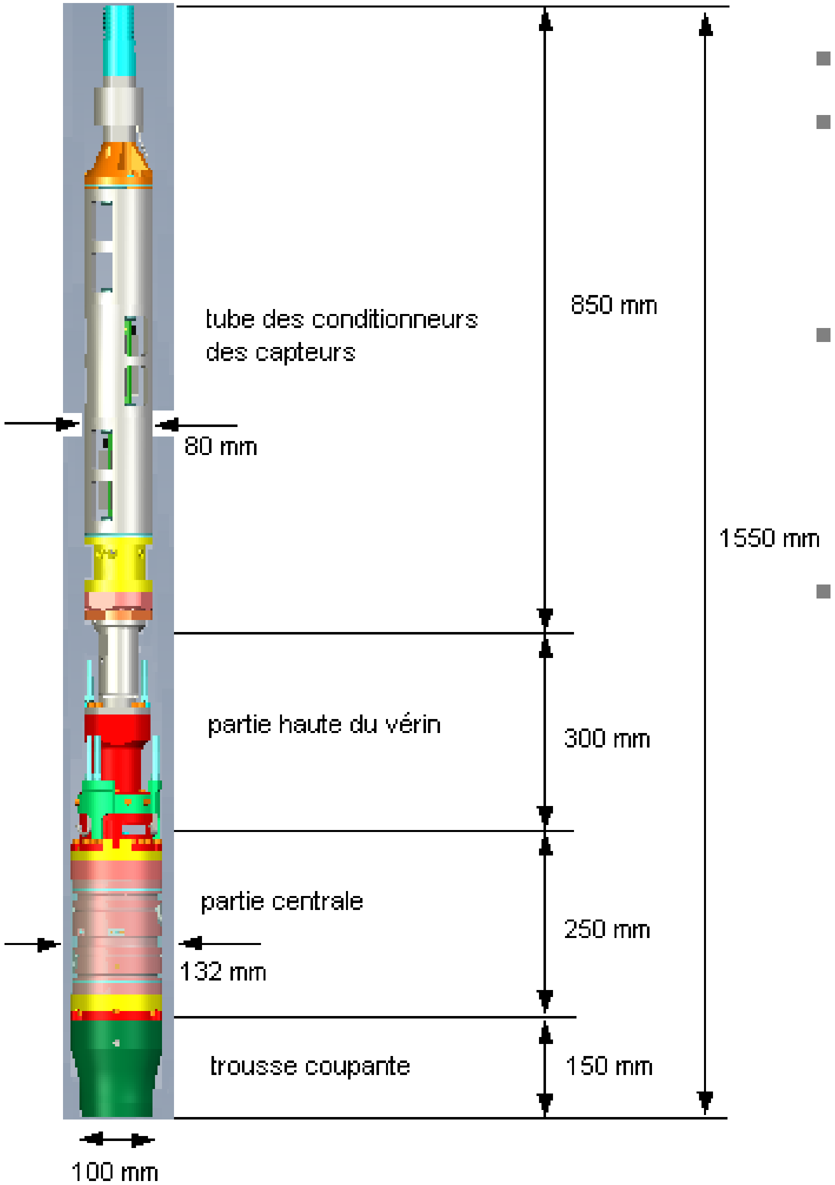






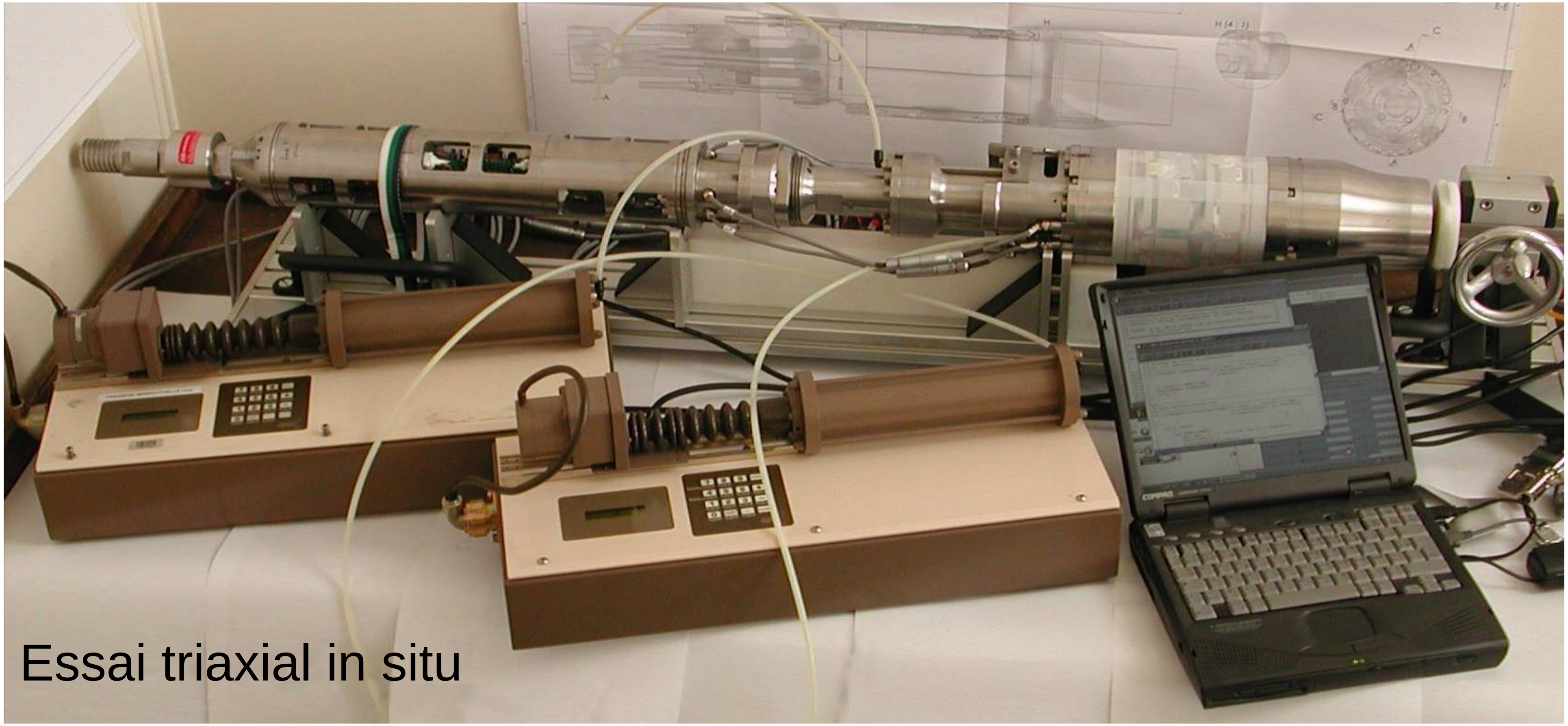
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Description



- Boîtier des conditionneurs,
- Partie haute de la sonde :
  - Système d'application de la pression verticale,
  - Système de mesure de la pression vertical et du déplacement vertical.
- Partie centrale de la sonde :
  - Système d'application de la pression radiale,
  - Système de mesure de la pression radiale, pression interstitielle et des déplacements radiaux.
- Partie basse de la sonde :
  - Trousse coupante,
  - Système de mesure des déplacements verticaux.

Essais triaxiaux in situ



Essai triaxial in situ

Système de montage

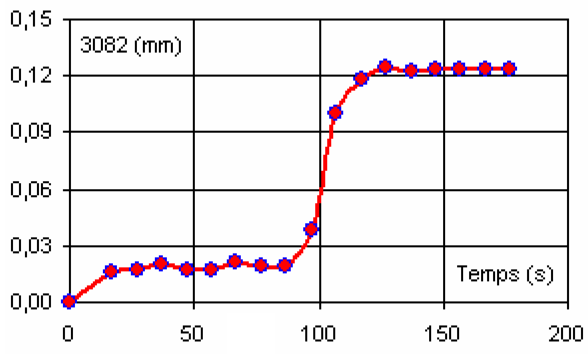
1. T.I.S
2. Cuve
3. Poutres de soutien
4. Bâti
5. Tige



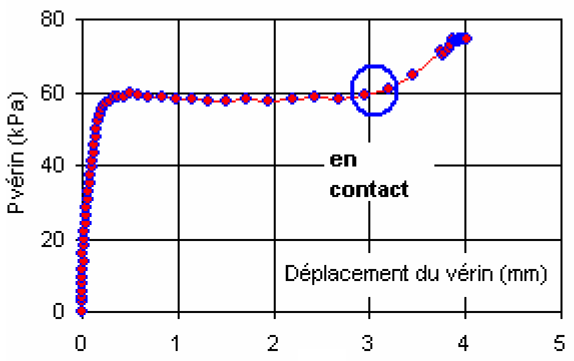


Résultats

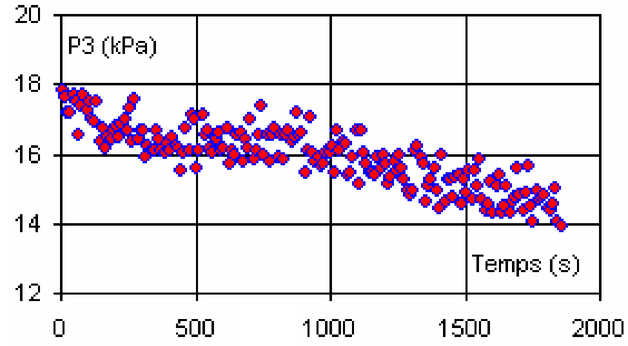
- Fonçage



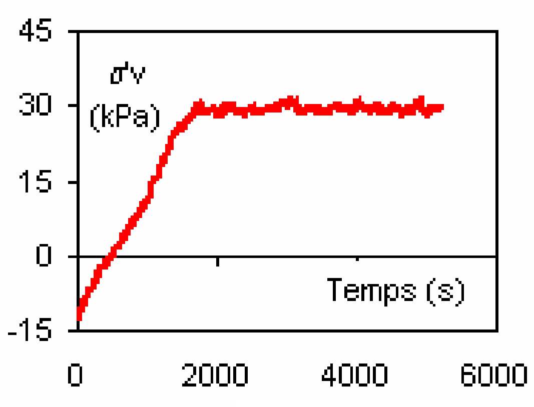
- Mise en contact

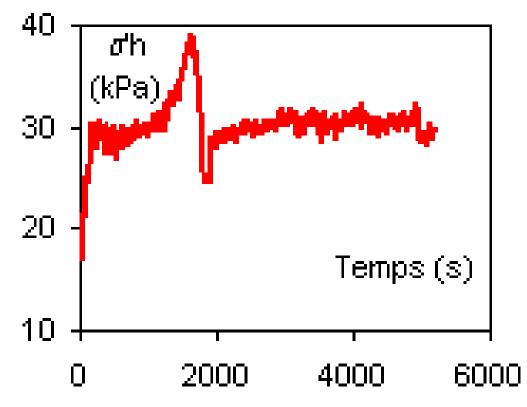


- Relaxation

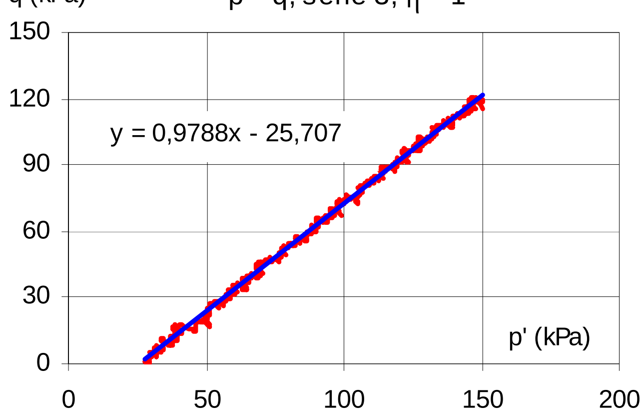


- Consolidation





- Chemin de contraintes



- La validation en cuve s'est bien passée, même nous avons quelques problèmes de capteurs (les signaux des capteurs à effet Hall n'étaient pas uniformes, le déplacement des capteurs axiaux dans la trousse coupante, déplacement radial)

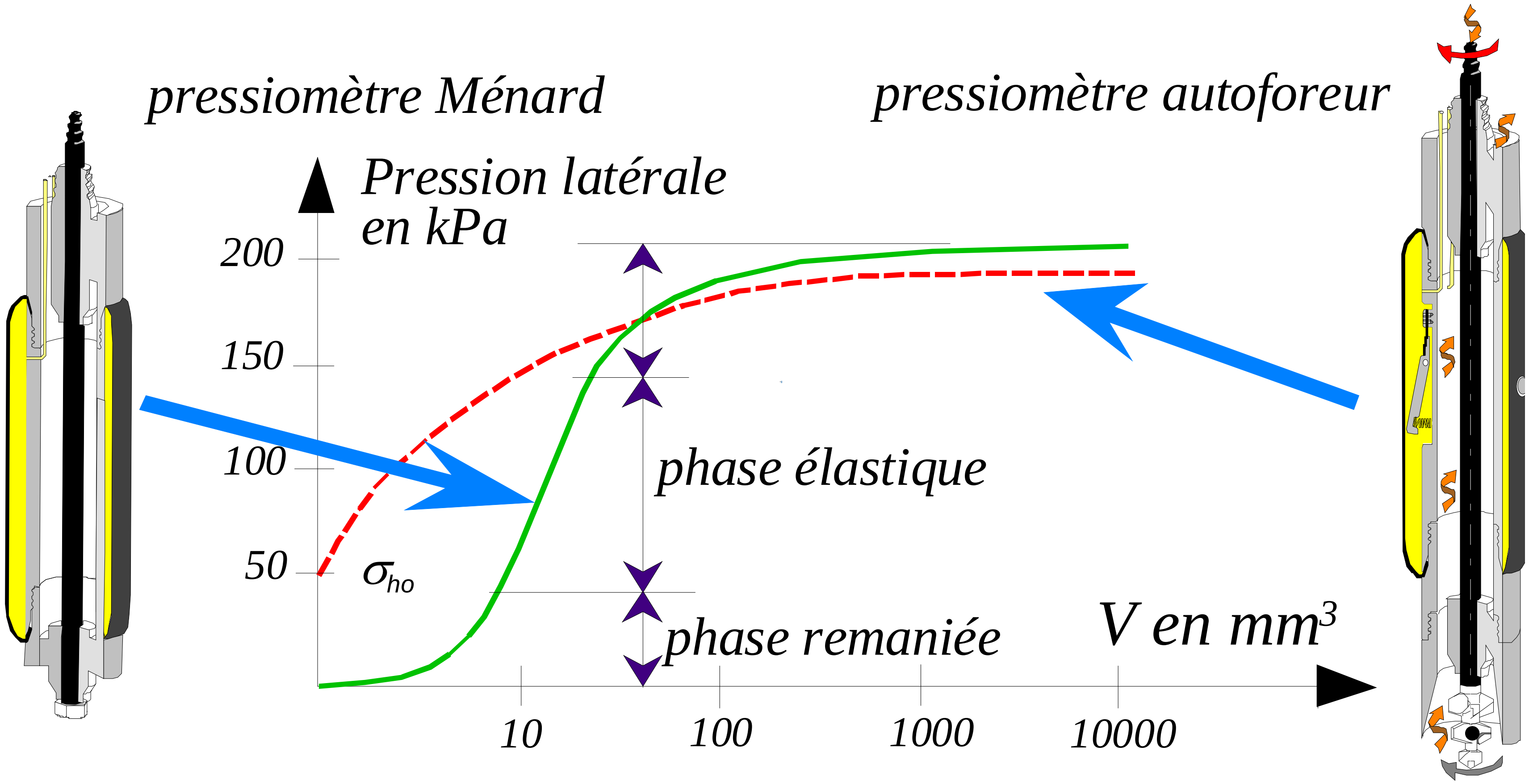
Étude expérimentale à Cubzac-les-Ponts

- Octobre 2006, à Cubzac-les-Ponts





Le pressiomètre autoforeur



EN ISO 22476-6

Le pressiomètre autoforeur

Les différents appareils développés sur les PAF du LR de St Brieuc



sonde hexagonale



pénétromètre latéral



différents élancements



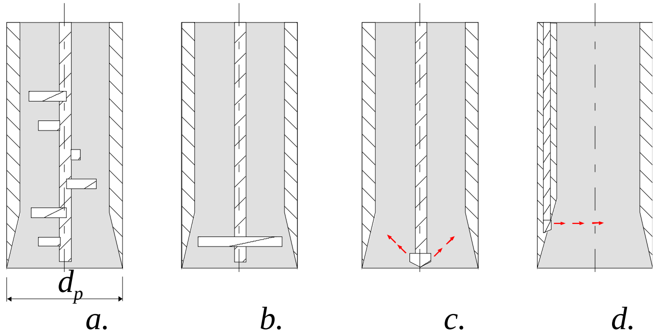
perméamètre



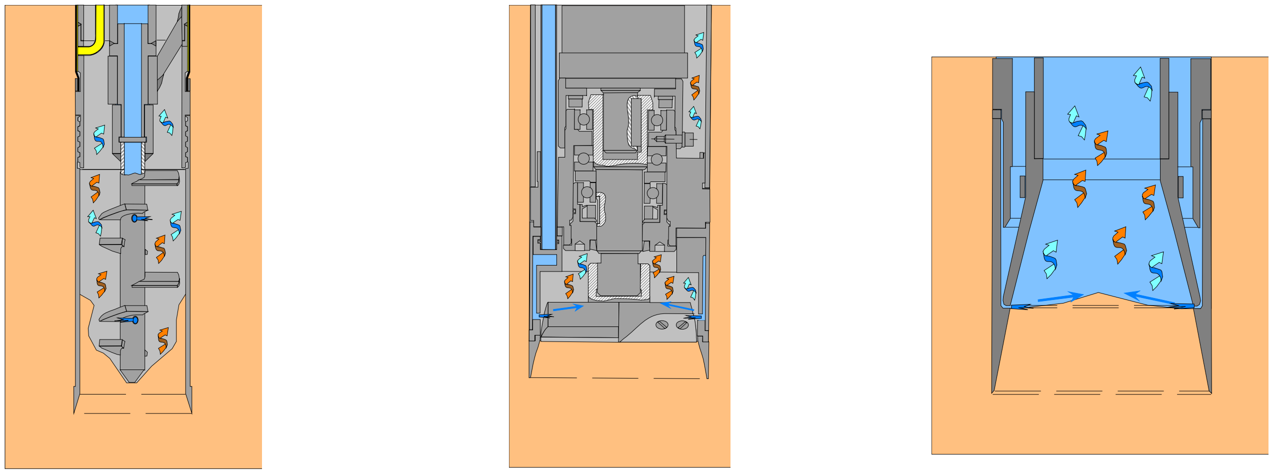
scissomètre

mais aussi sonde frottante, sonde gammadensimétrie

Le pressiomètre autoforeur



Les différents outils (à étage, papillon, jet central, jets périphériques)



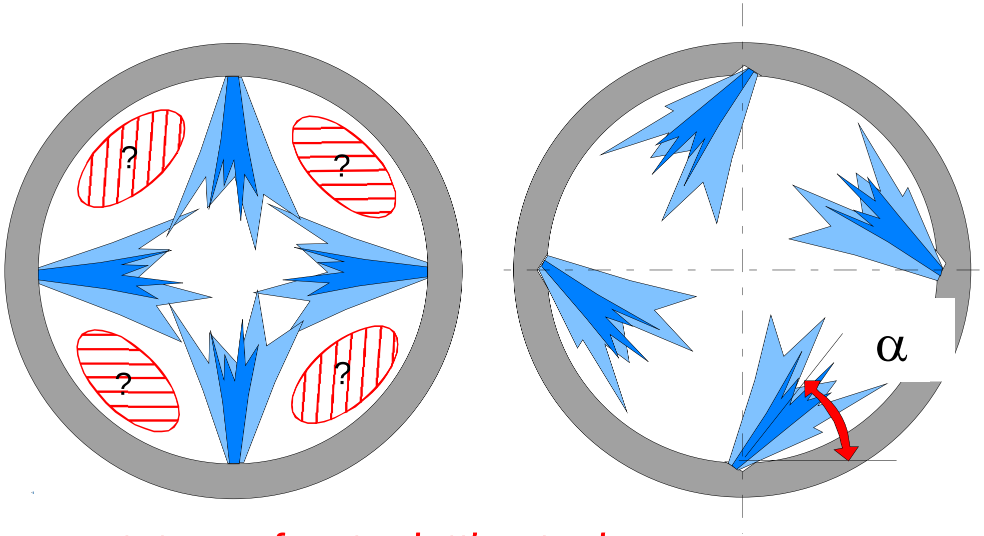
Les différents outils utilisés sur les PAF du LR de St Brieuc



LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

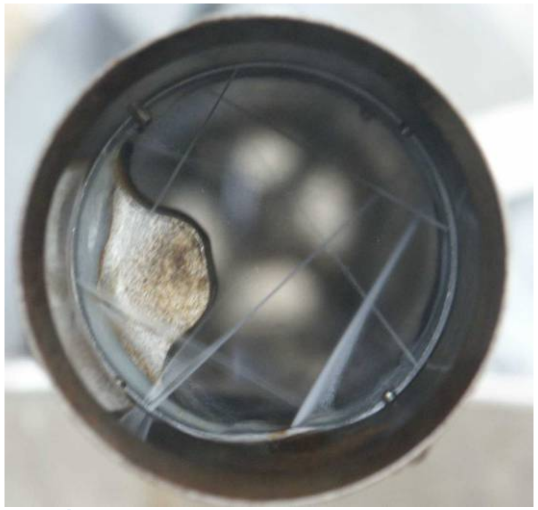
Système de désagrégation





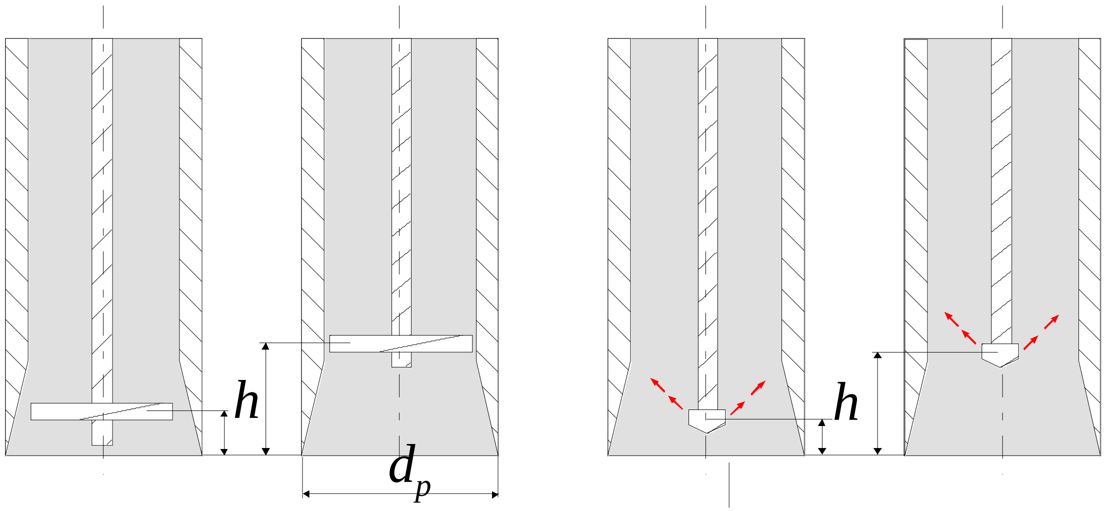
- Outil désagrégateur prototype pour validation - *prototype of water jetting tool*





Système de désagrégation

- Question en suspend – *Problem still pending :*
  - distance du tranchant à l'outil
  - Vitesse de fonçage

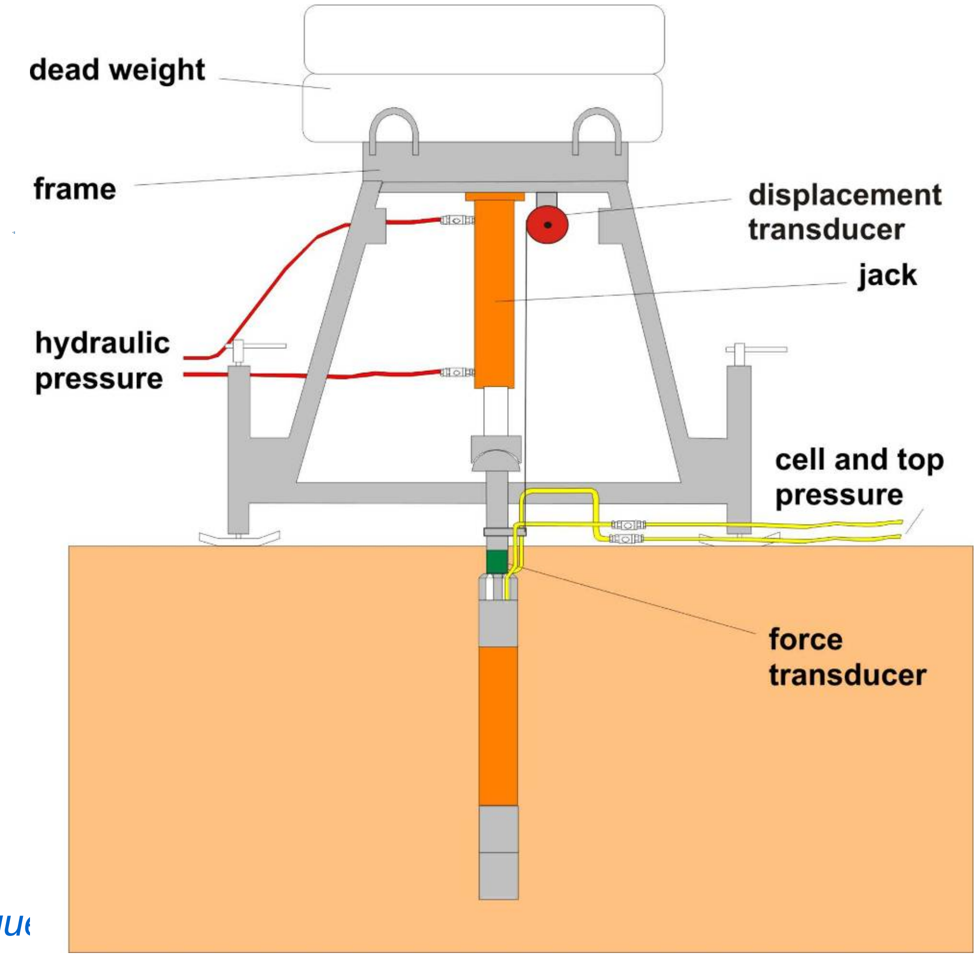


Références :

- ISP1 à ISP4
- Benoît J., (1983) Analysis of self-boring pressuremeter tests in soft clay, PhD thesis Stanford university, Palo Alto California, x pages

Système de désagrégation

- Validation - *validation*
  - Essais en cuve ou cylindres PVC
  - Différents matériaux – different soils : sable – sand (B2), limon - silt (A1)
  - États de densité – density : 80, 95 et 100 % de l'OPN
  - Vitesse d'enfoncement – insertion speed : 50, 100 et 200 mm/mn
  - Pression d'eau – water pressure : 5, 10 et 15 MPa
  - 4 ou 8 buses – 4 or 8 noszzles
  - Longueur trousse - length



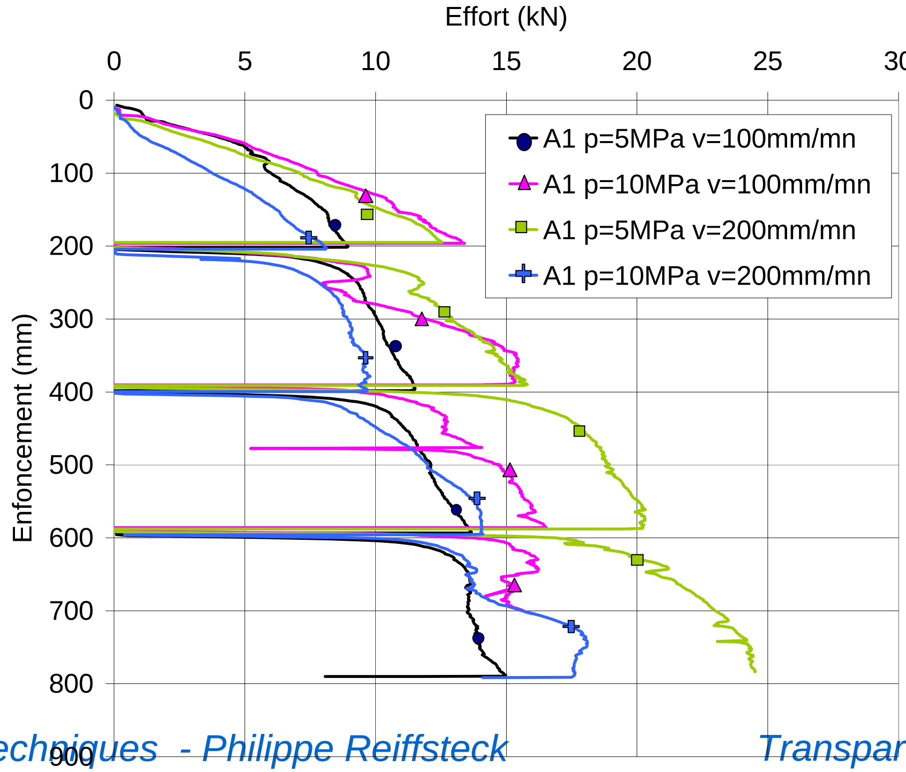
Système de désagrégation

- 1ère série sur limon
- 4 buses droites







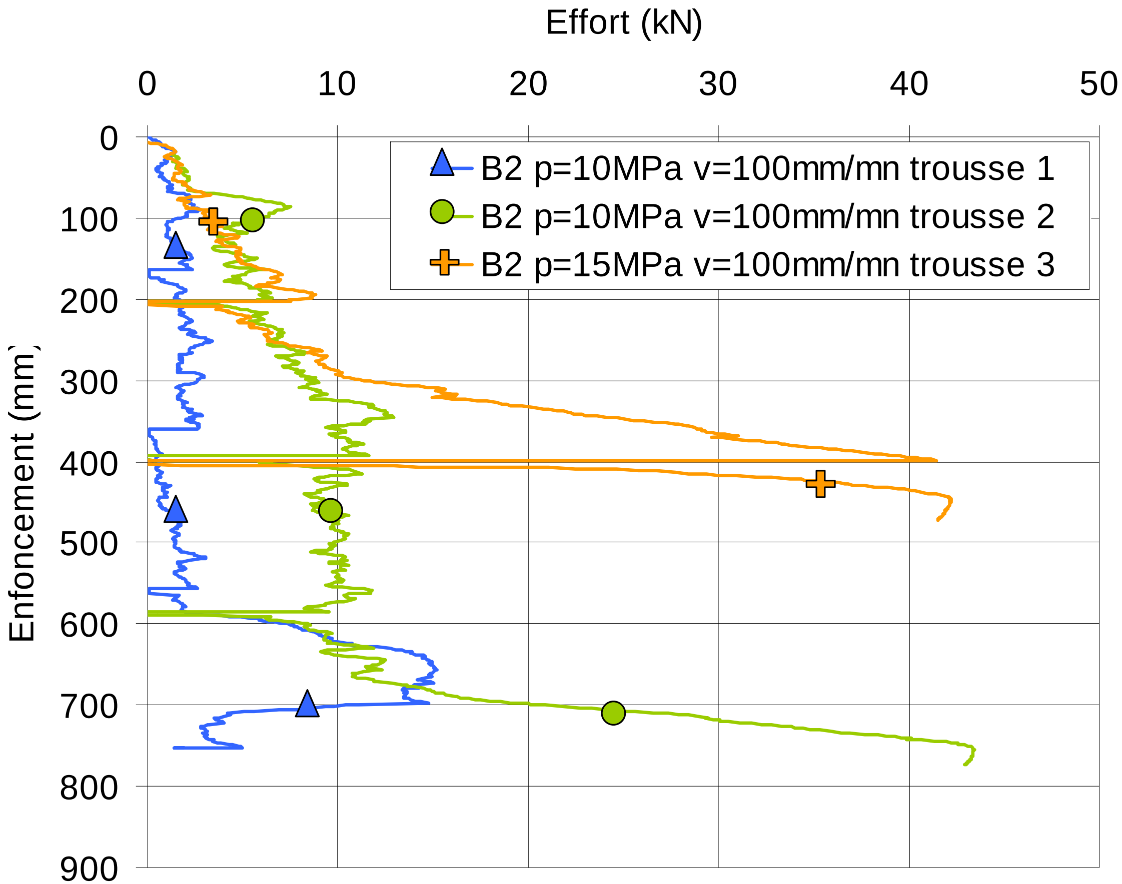


Système de désagrégation

- 1ère série sur sable
- 4 buses droites
- Différentes trousses : L=154 mm

V=50 mm/mn



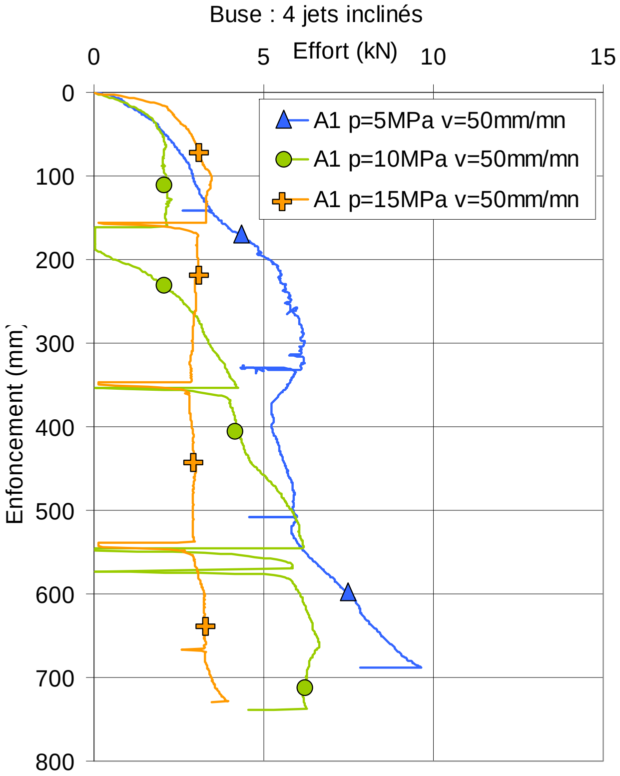


Système de désagrégation

- 2ème série sur limon,
- 4 buses inclinées

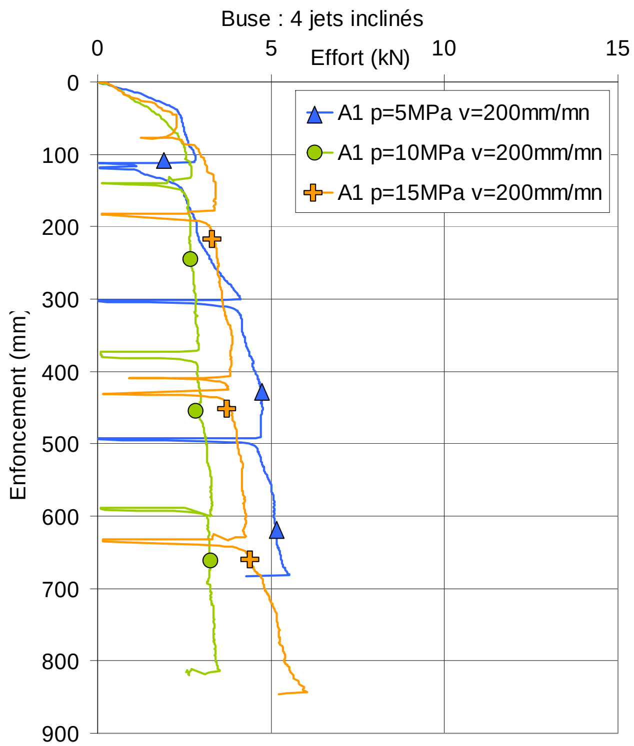






V=50 mm/mn

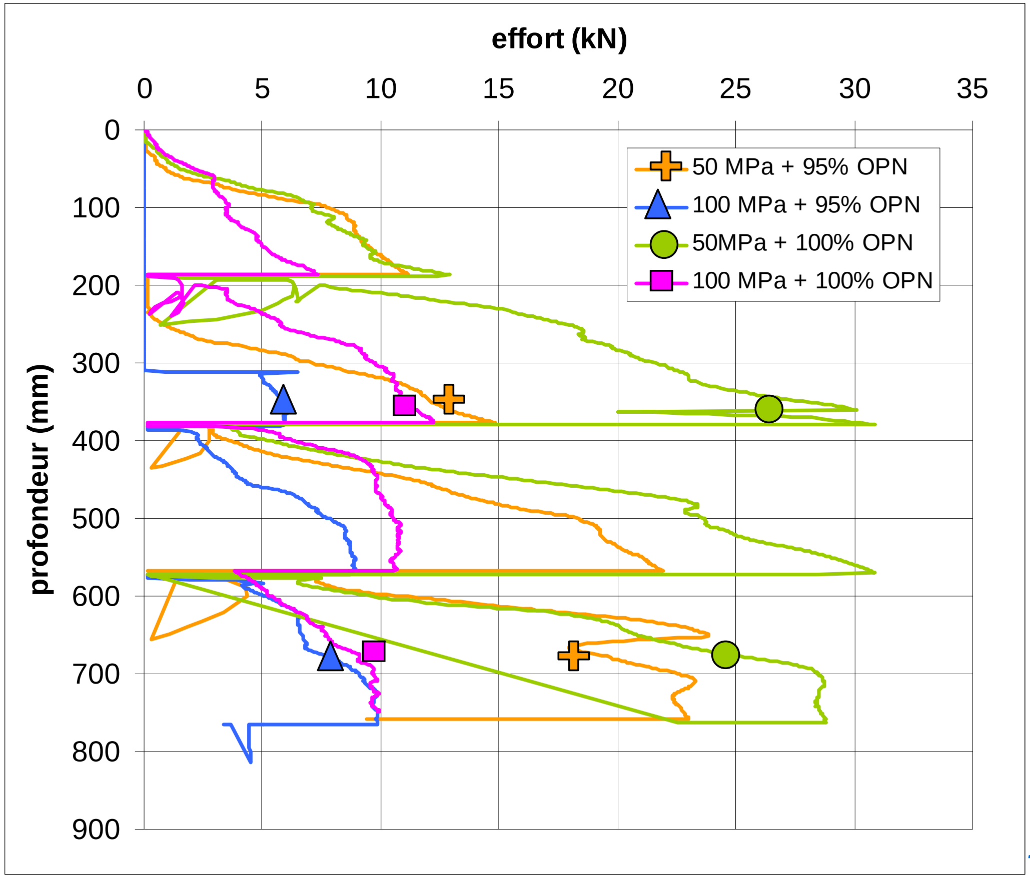
V=200 mm/mn



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Système de désagrégation

- 2ème série sur sable
- 8 buses inclinées
- 4 buses inclinées



Système de désagrégation

- Constatation après essais
  - déformation des couches selon vitesse et densité

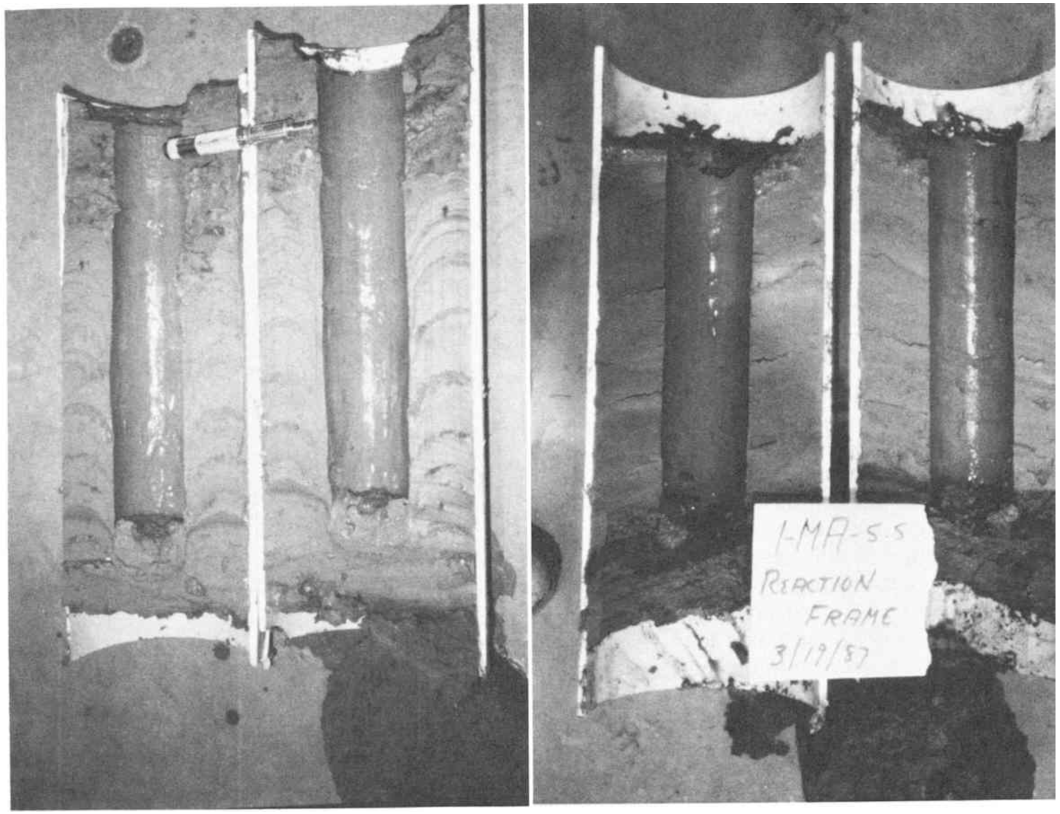






Système de désagrégation

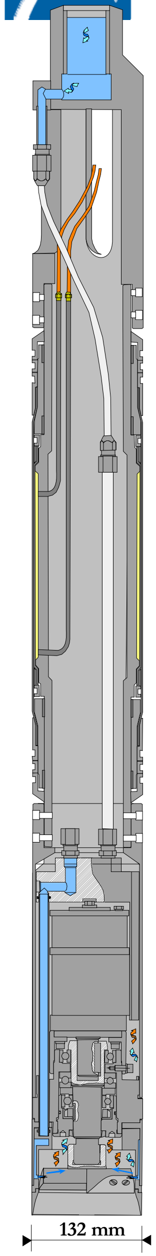
- Constatation après essais
  - déformation des couches selon vitesse et densité

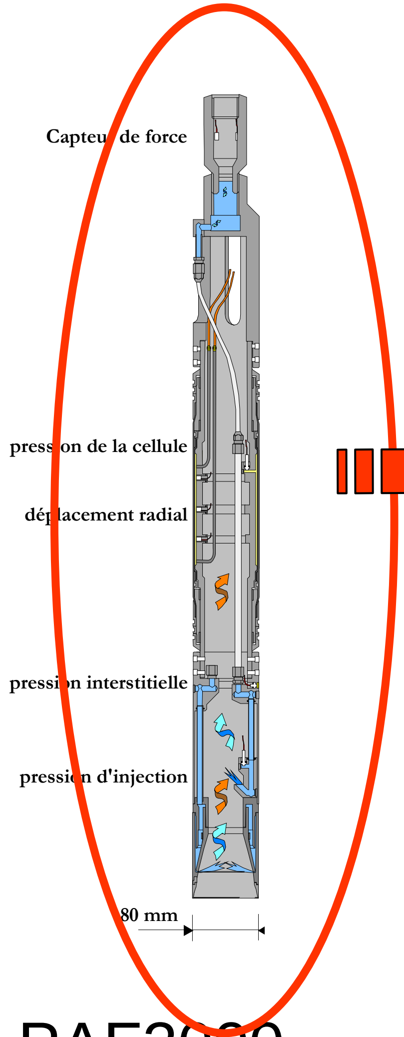


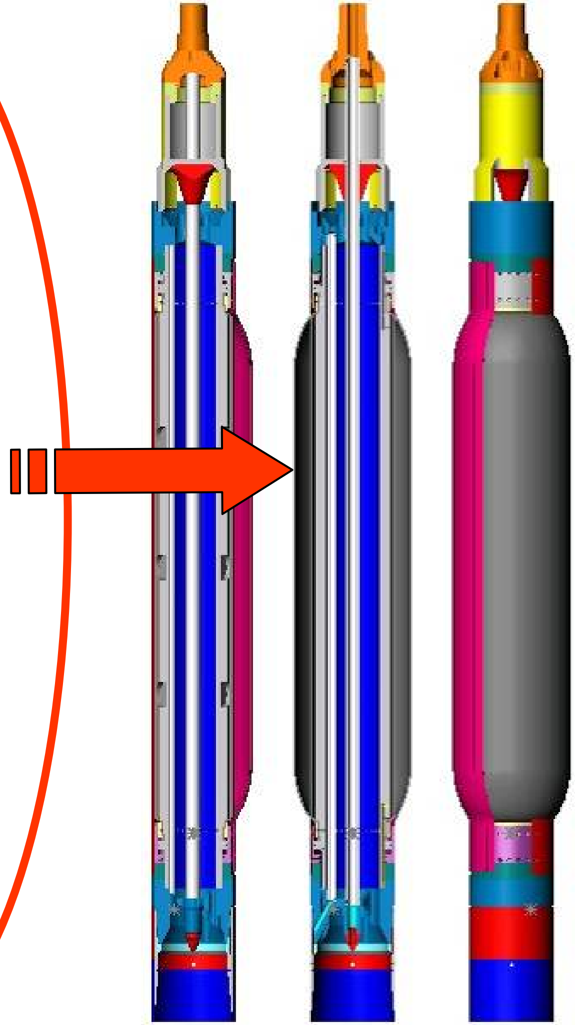
•Benoît J., (1983) Analysis of self-boring pressuremeter tests in soft clay, PhD thesis Stanford university, Palo Alto California, x pages

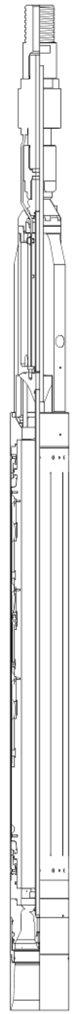
LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

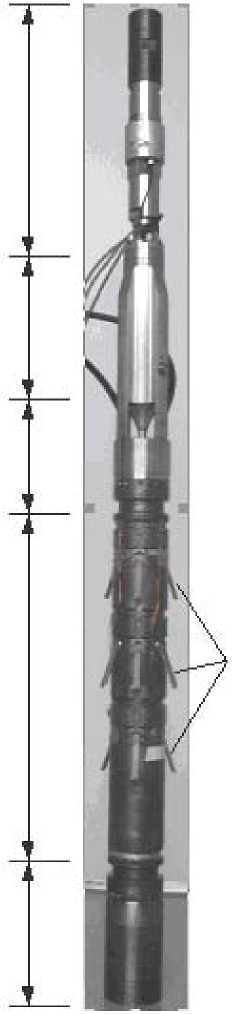
Essais in situ





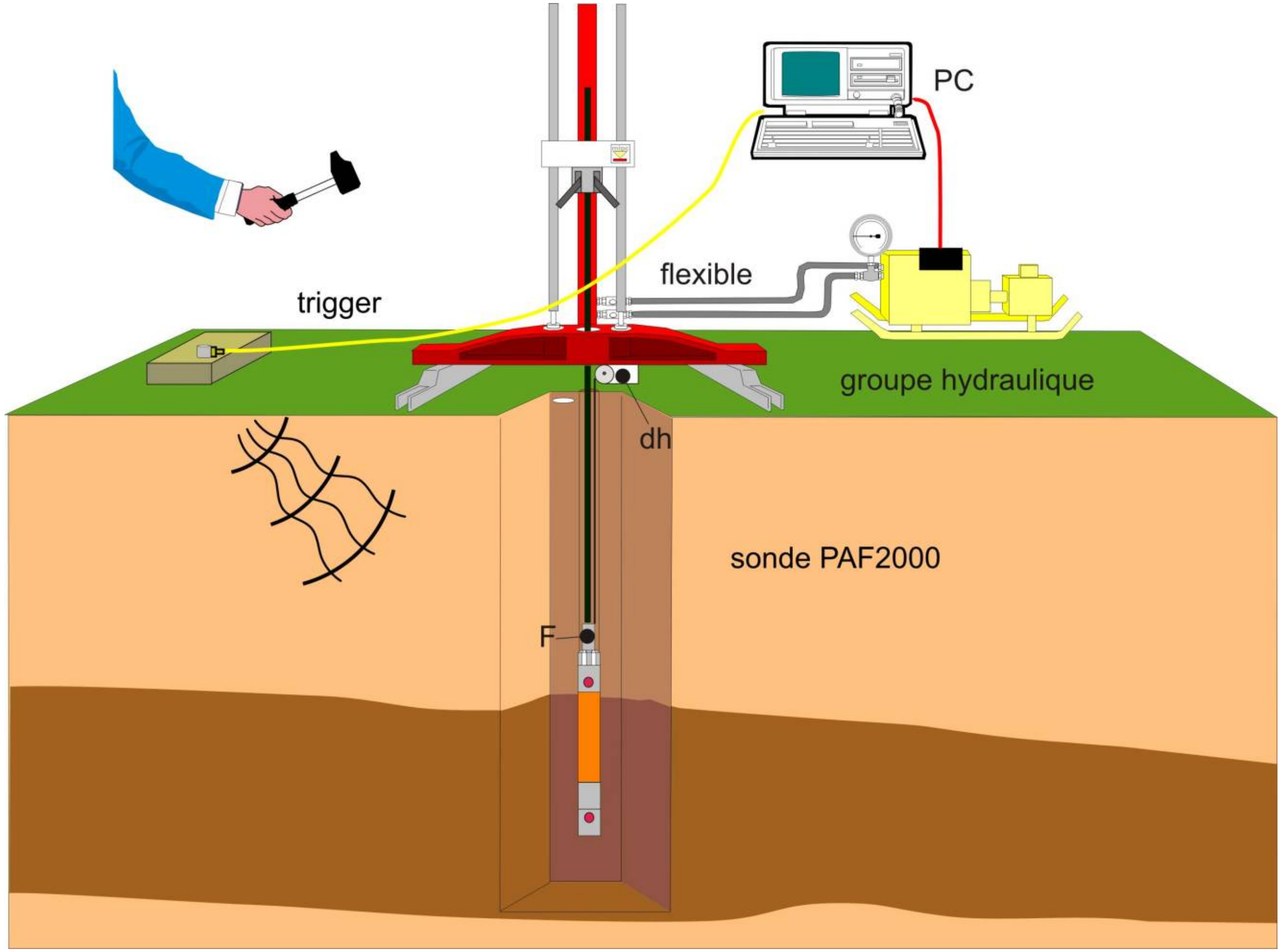






PAF2000

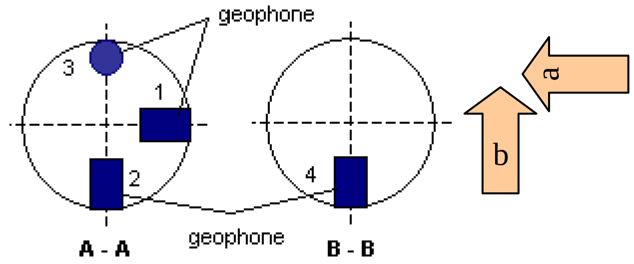
Conclusions

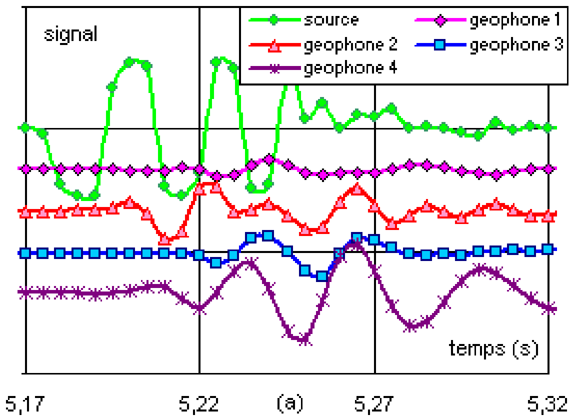


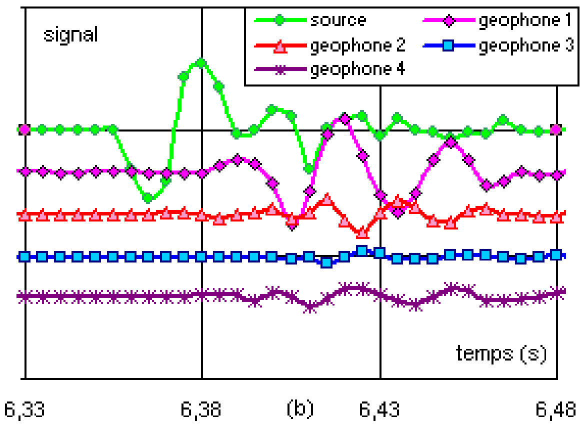
Remerciements :

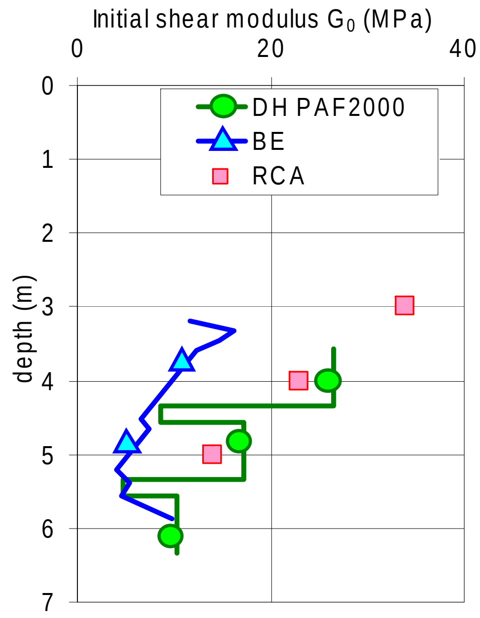
Les auteurs tiennent à remercier Olivier Jean, Nicolas Rouxel, Yves Canépa, Carl Calmo pour leur aide précieuse.

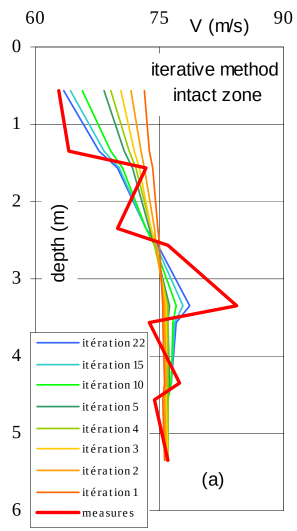
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

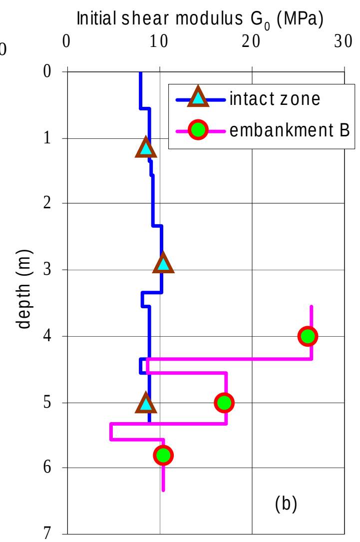


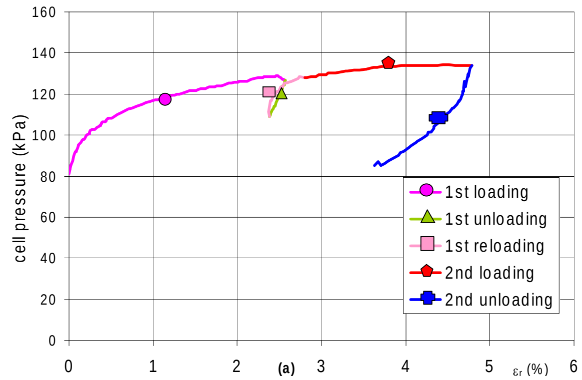


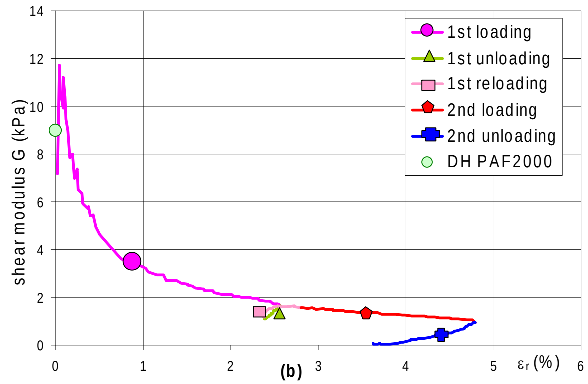




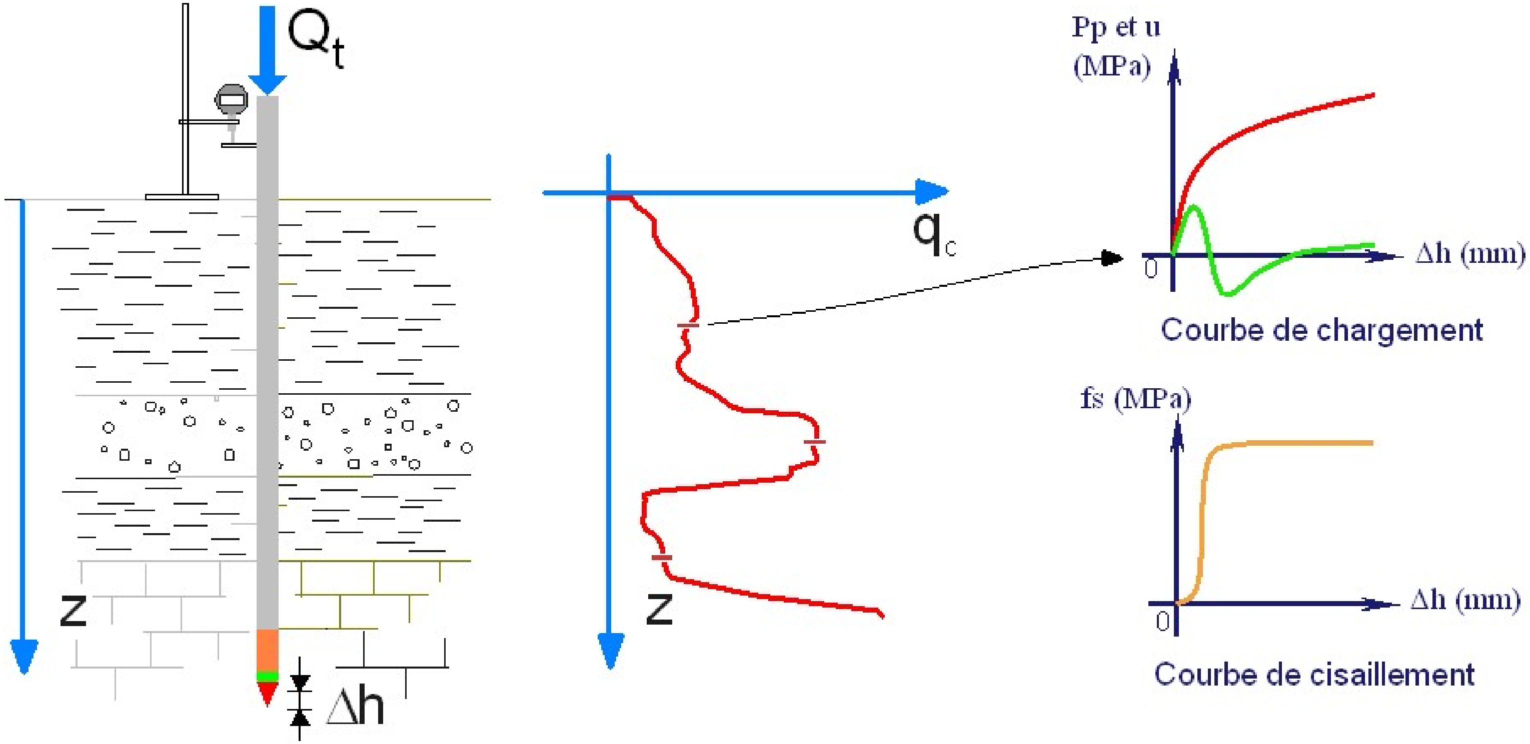








Essai de chargement de pointe



Mode opératoire de l'essai

1. *Réalisation d'un essai de pénétration statique classique : EN ISO 22476-1 (2006)*
2. *Phase de relaxation*
3. *Chargement par palier (10 paliers)*
4. *Déchargement par paliers*

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Matériels



Validation de l'essai de chargement de pointe

- Mise en œuvre expérimentale
  - Site expérimental de Merville : argile des Flandres
  - Site d'Utrecht (site réel) : sable (Pays-Bas)
  - Site du Havre (STEP) : sable_échec de la campagne
  - Site expérimental de Limelette : sable, limon et argile (Belgique)

- Modélisation physique : Centrifugeuse

- Modélisation numérique : Plaxis

Le site de Limelette : intérêt

Présence de plusieurs types de sol

- *Couche de limon : 2.2-6.2 m*
- *Couche d'argile très hétérogène : 6.2-8.2 m*
- *Couche de sable : 8.2-17 m*

Large campagne d'essais in situ et au laboratoire :

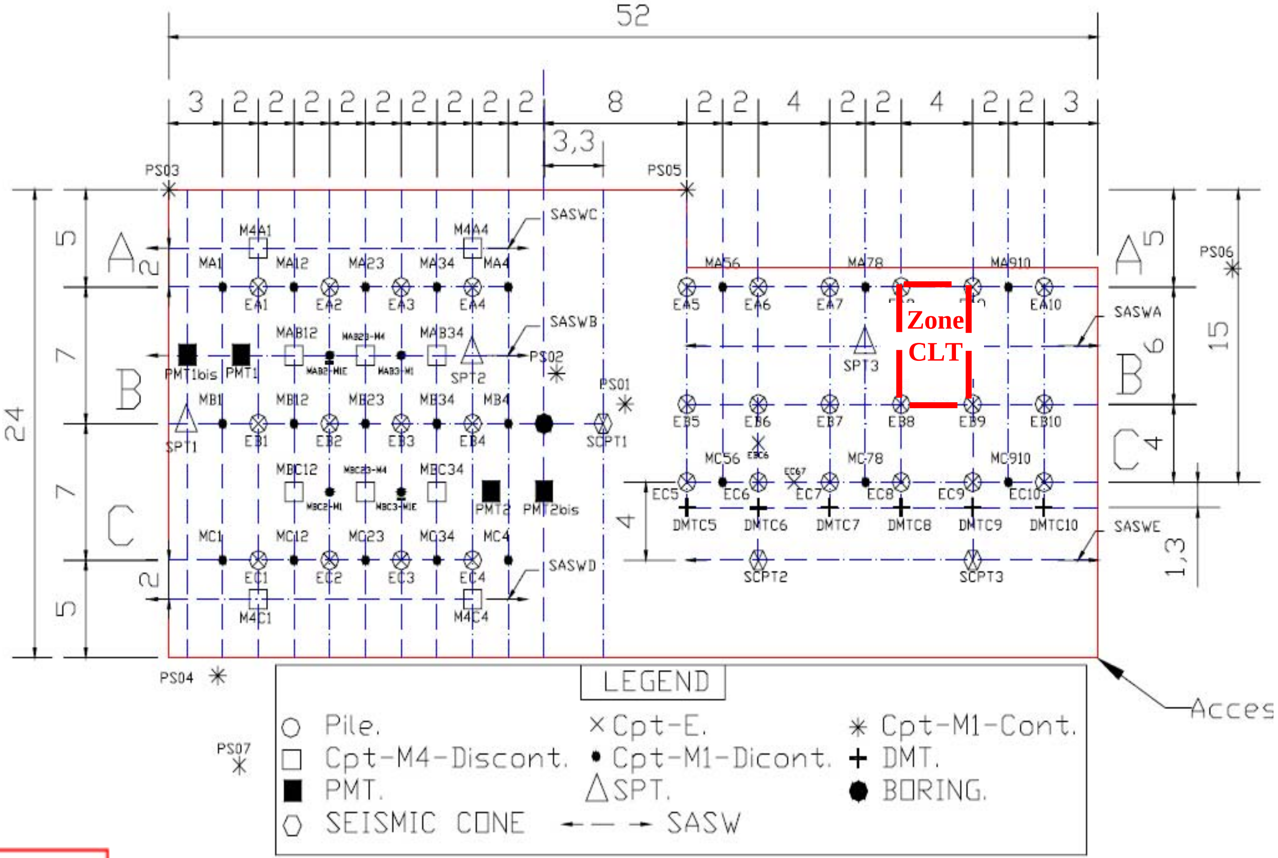
- *CPT (pointe électrique; pointe mécanique), SPT, PMT, DMT,…*
- *Triaxial*
- *SASW, SCPT*

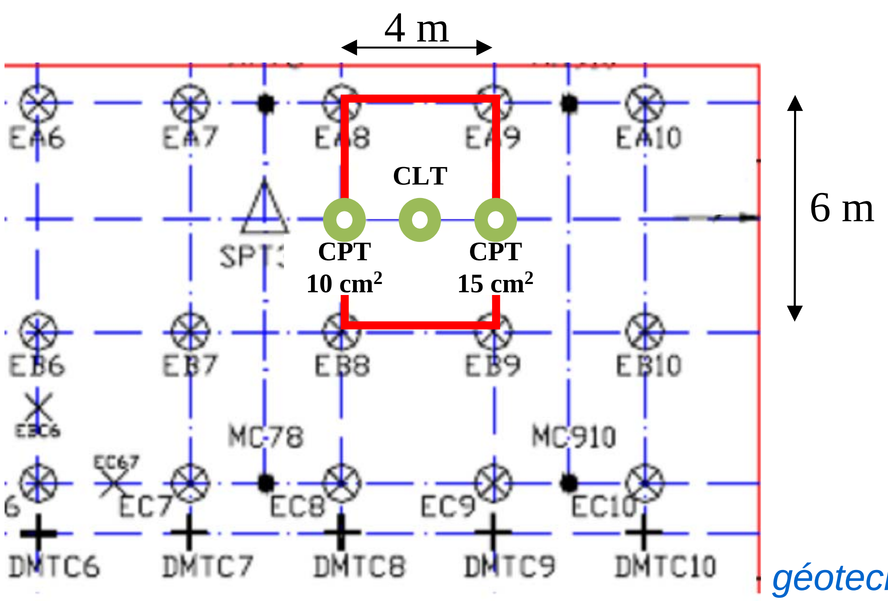
Des essais de pieux ont été réalisés

- *Pieux vissés*
- *Pieux préfabriqués battus*

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Zone retenue et nouveaux sondages réalisés





1 CPT (10 cm²) jusqu'à 18 m de profondeur
1 CLT (15 cm²) jusqu'à 18 m de profondeur
1 CPT (15 cm²) jusqu'à 18 m de profondeur

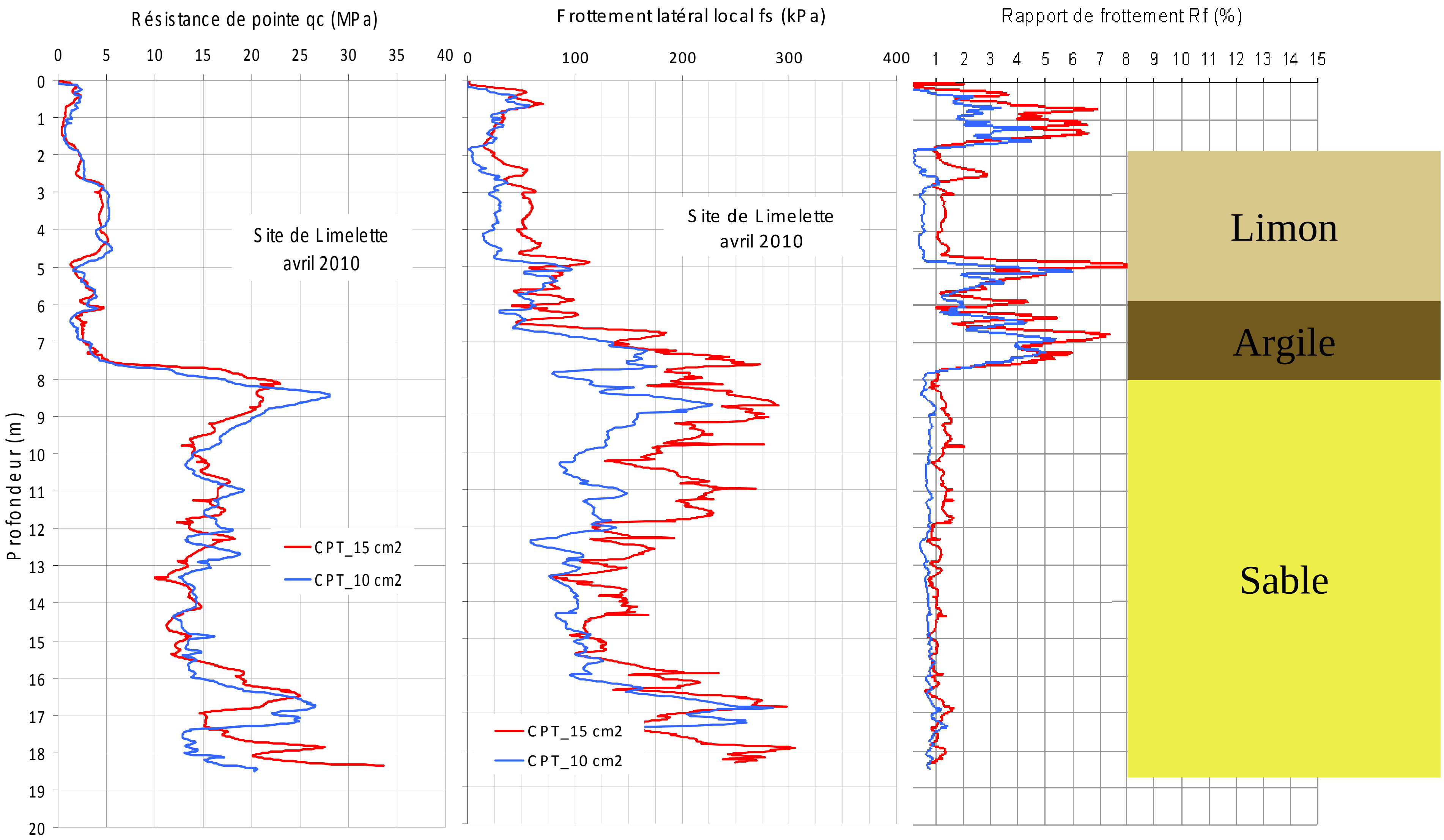




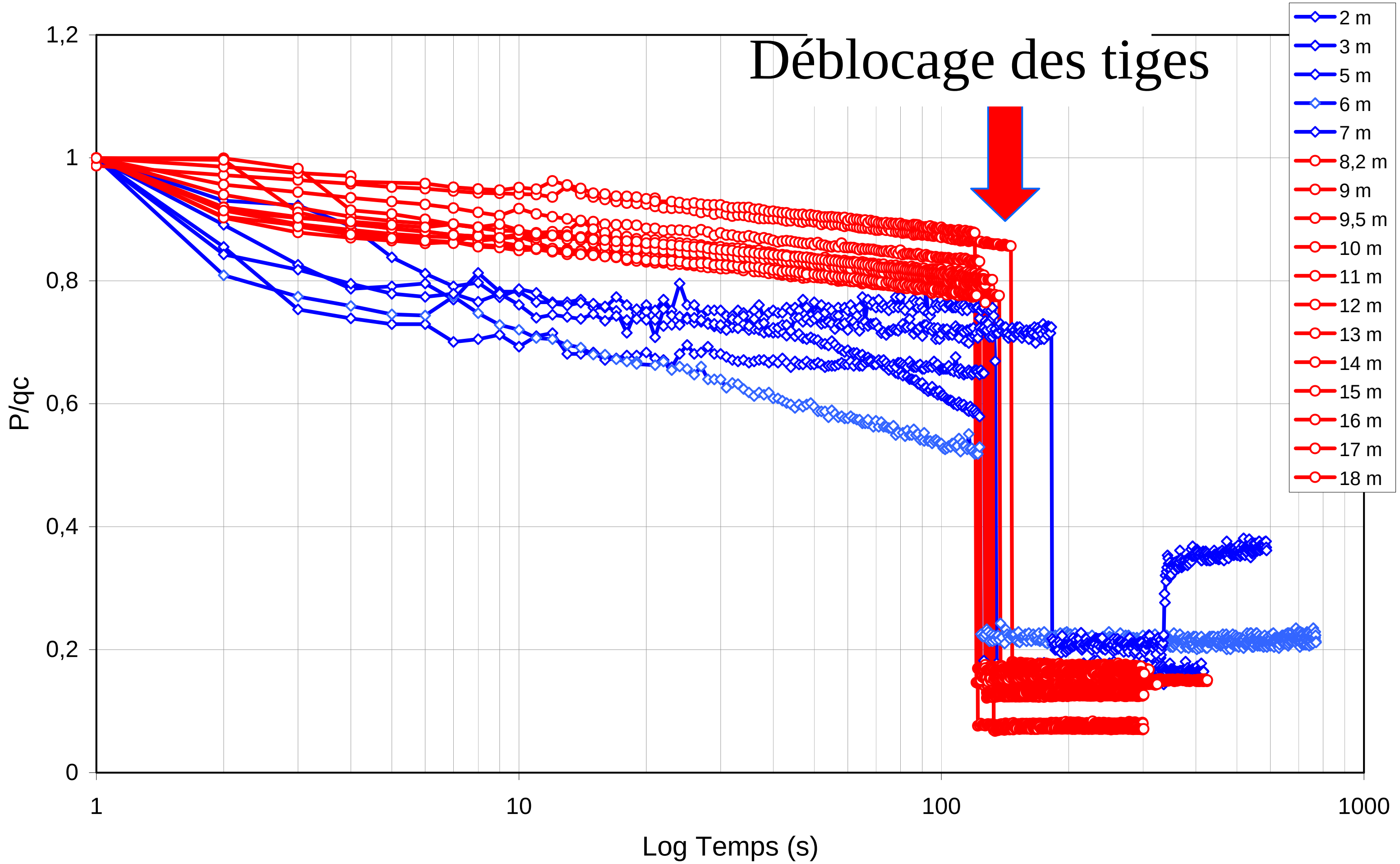
Dépouillement des essais réalisés

1. Pénétrogrammes
2. Courbes de dissipation
3. Programme de chargement
4. Courbes de chargement
5. Correction du déplacement mesuré
6. Courbes de mobilisation de frottement
7. Charge limite q_{CLT} et frottement limite fs_{CLT}
8. Calcul des modules CLT

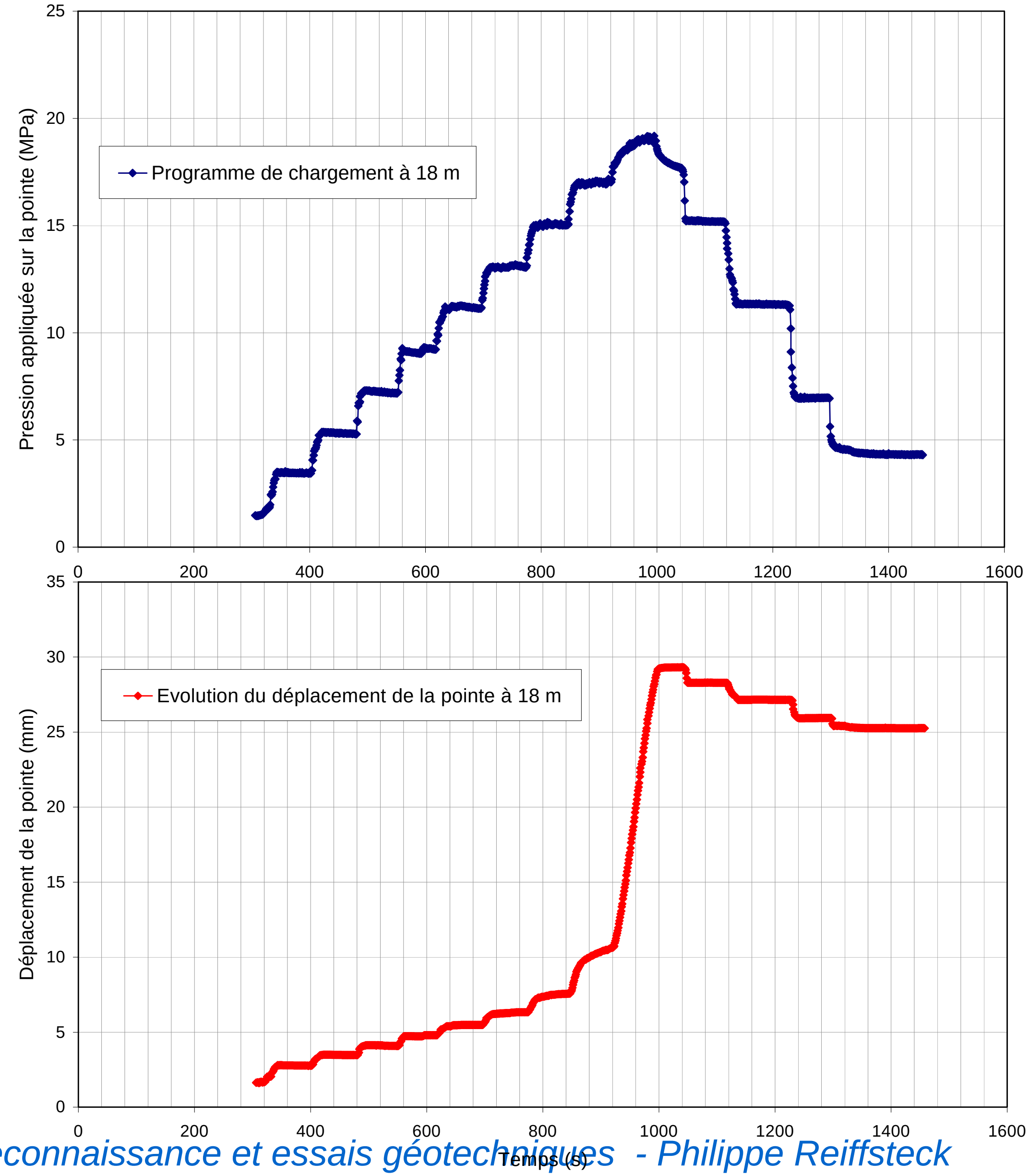
Pénétrogrammes



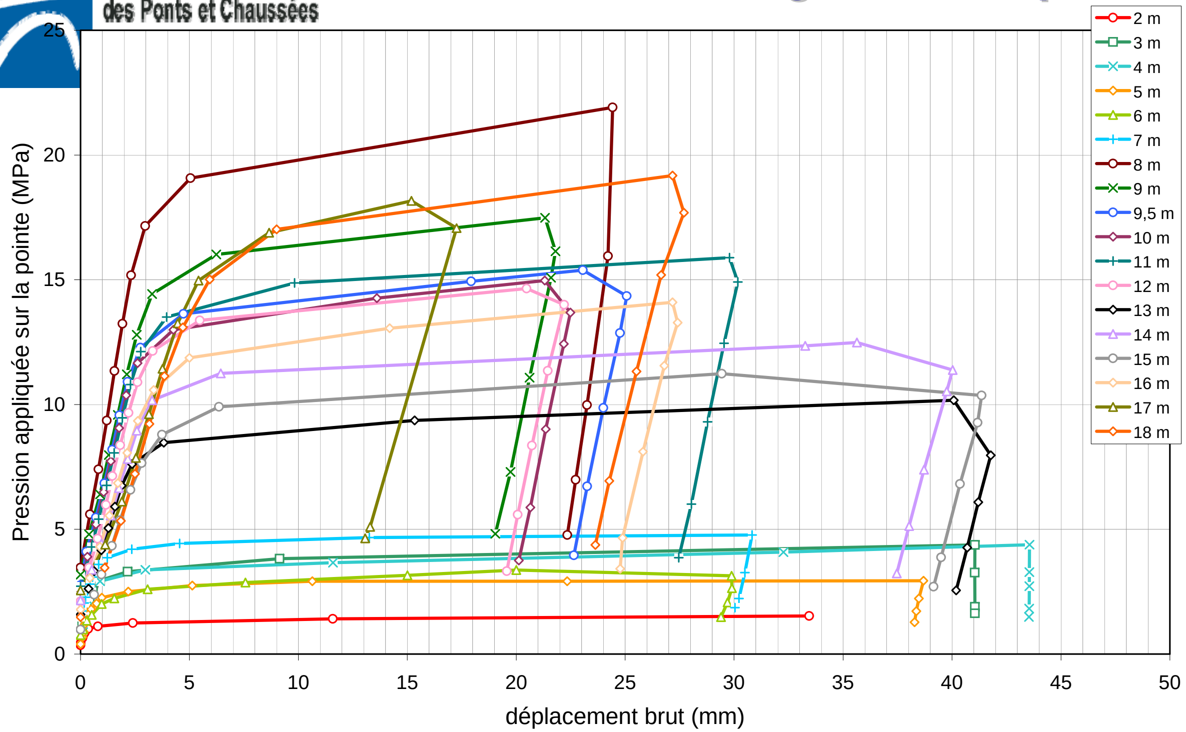
Courbes de dissipation (rapport P/q_c Vs Log temps)



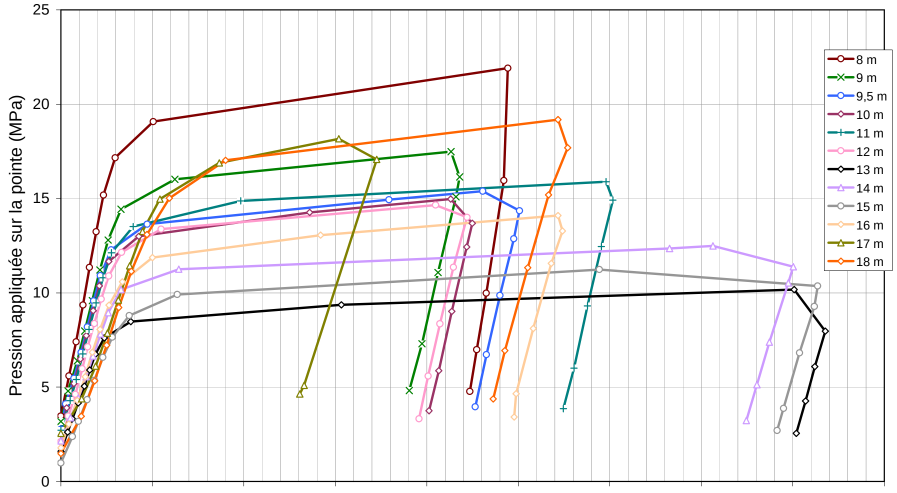
Programme de chargement en fonction du temps

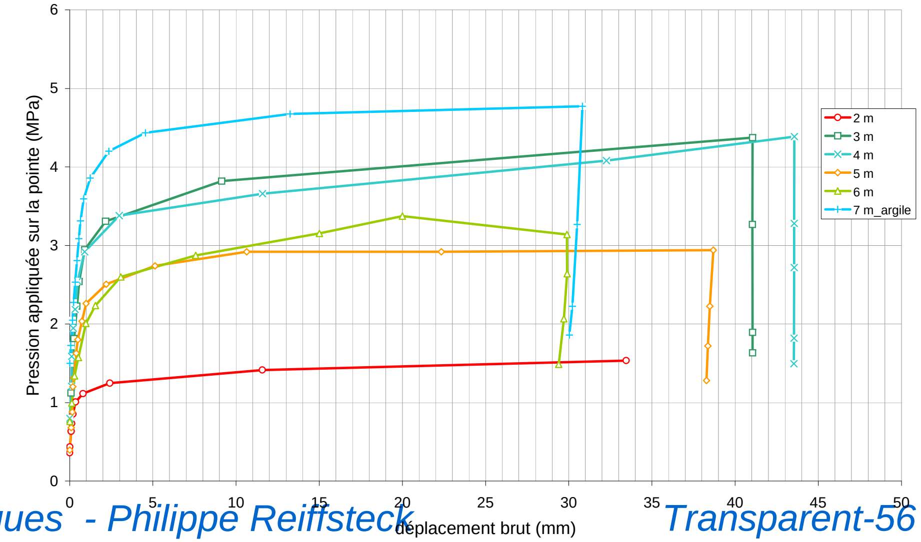


Courbes de chargement de pointe (non corrigées)

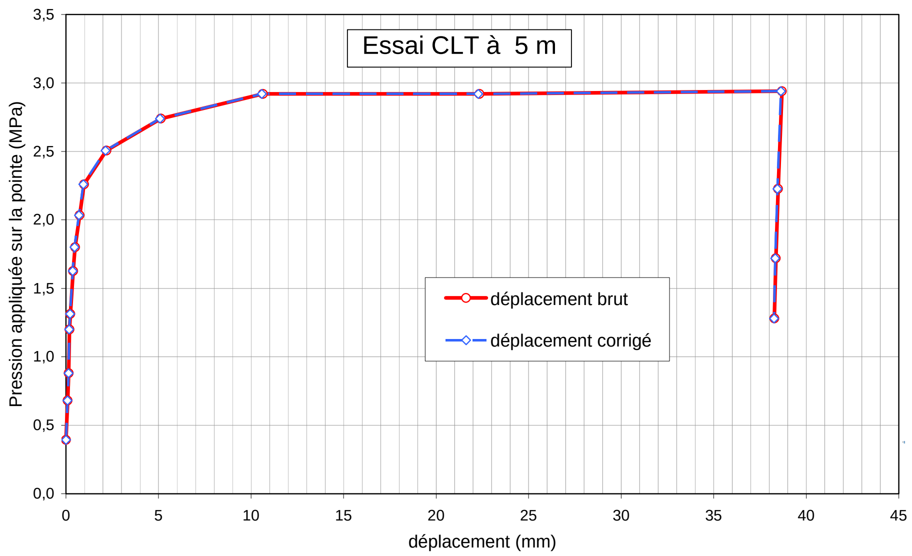


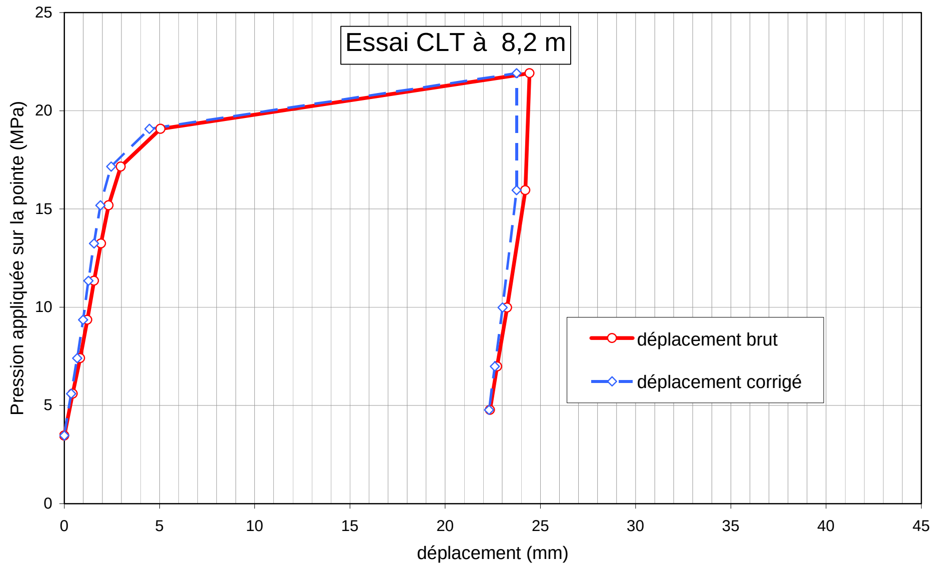
Charge et déplacement mesurés à 60s, à la fin de chaque palier de chargement

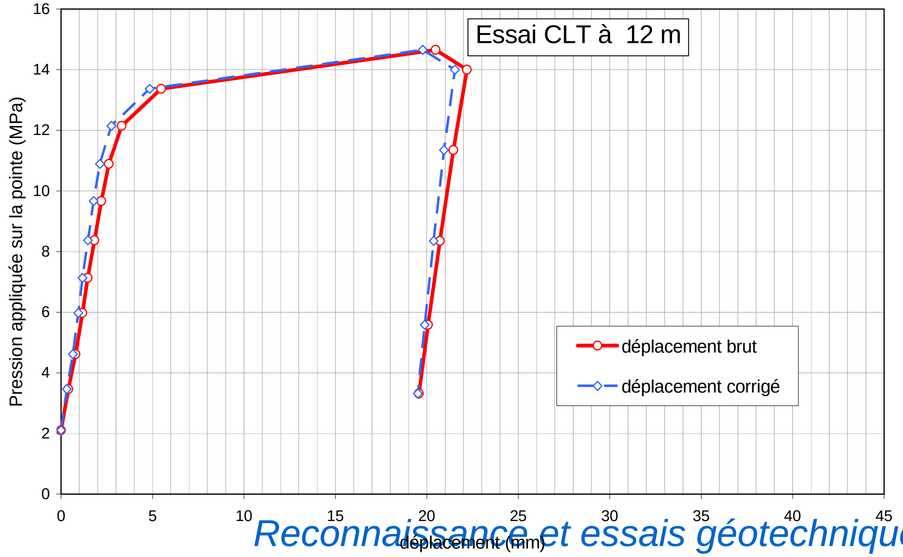


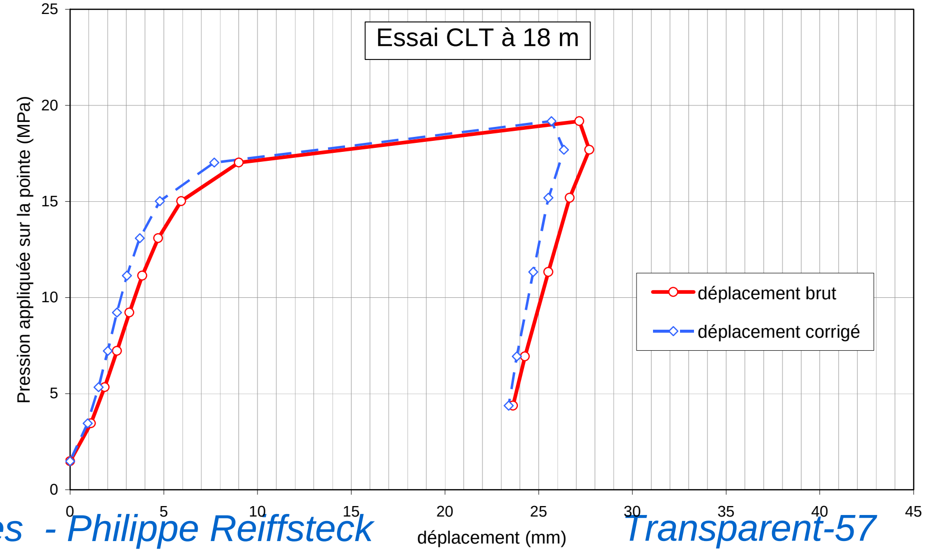


5. Correction du déplacement mesuré



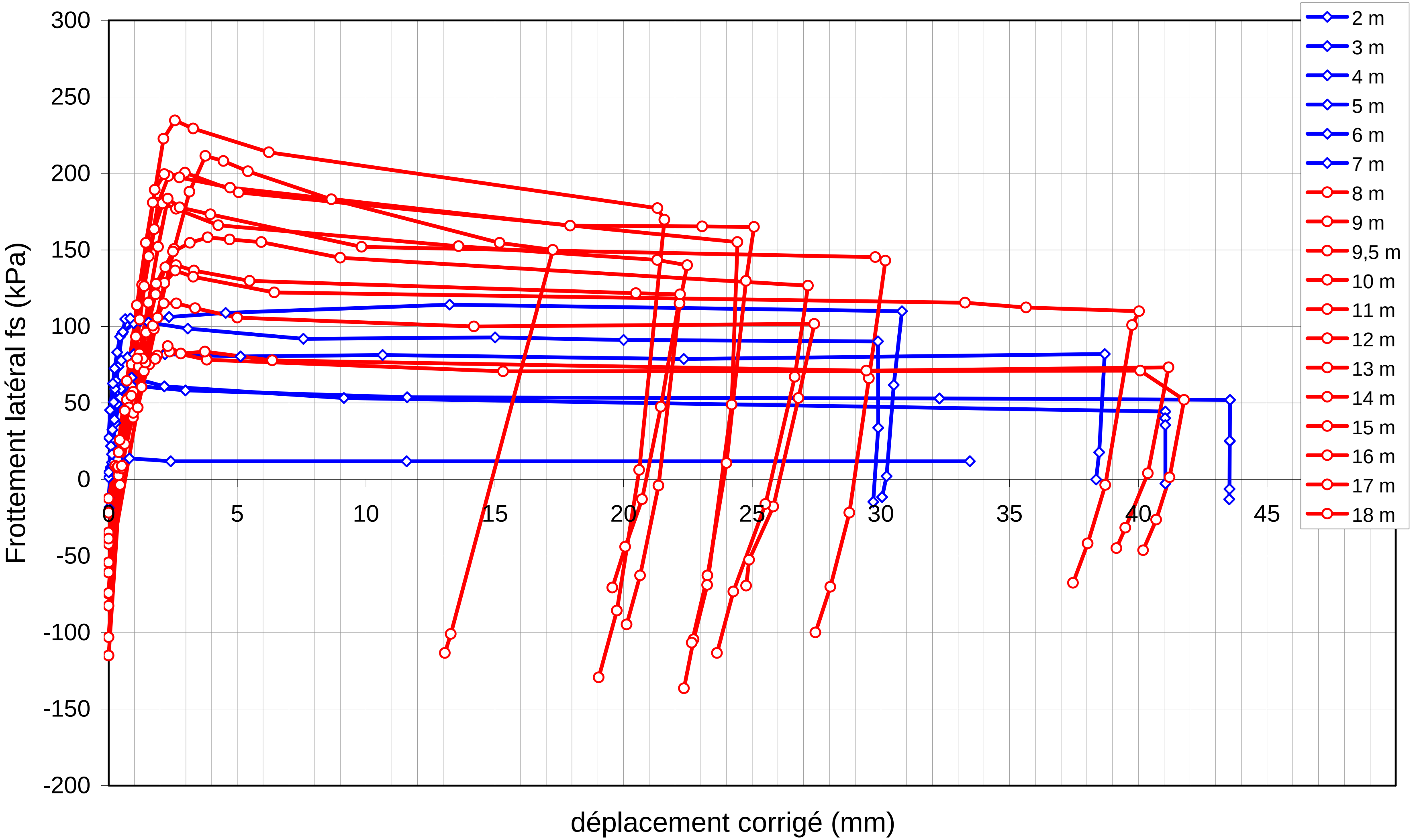




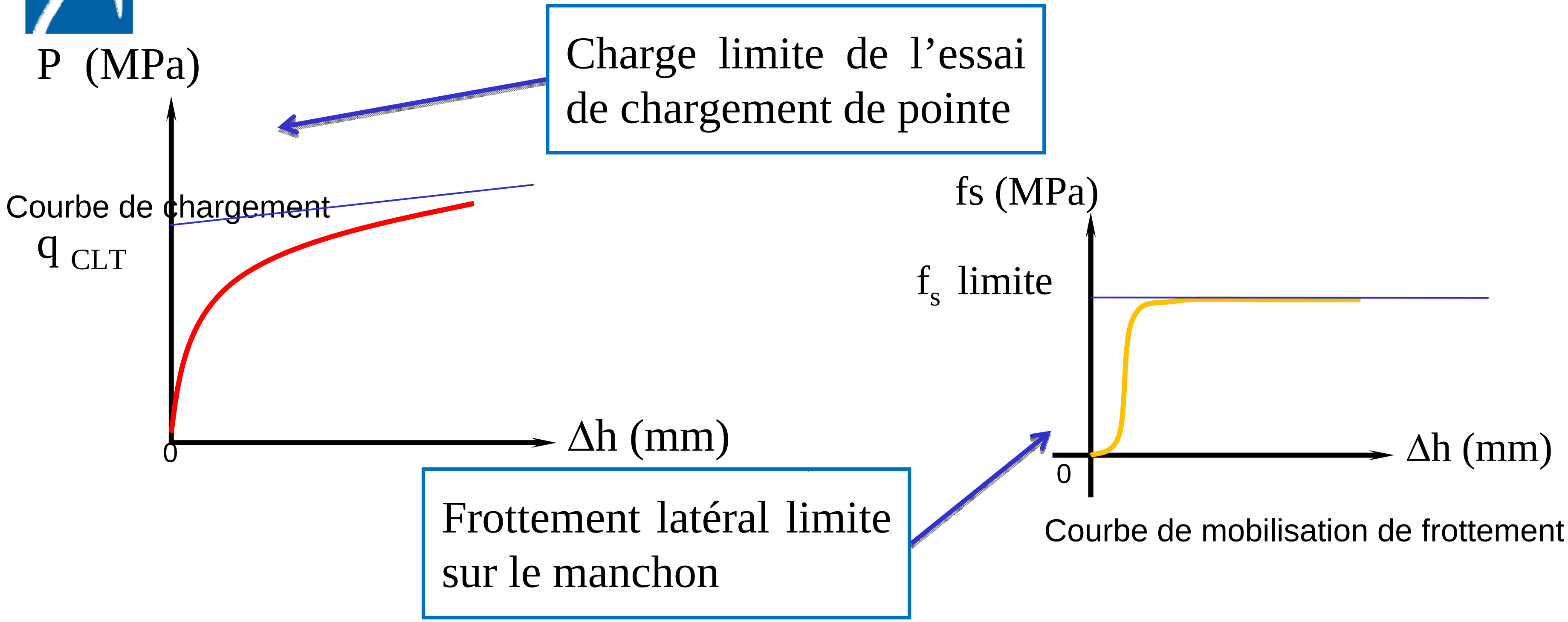


Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Courbes de mobilisation de frottement

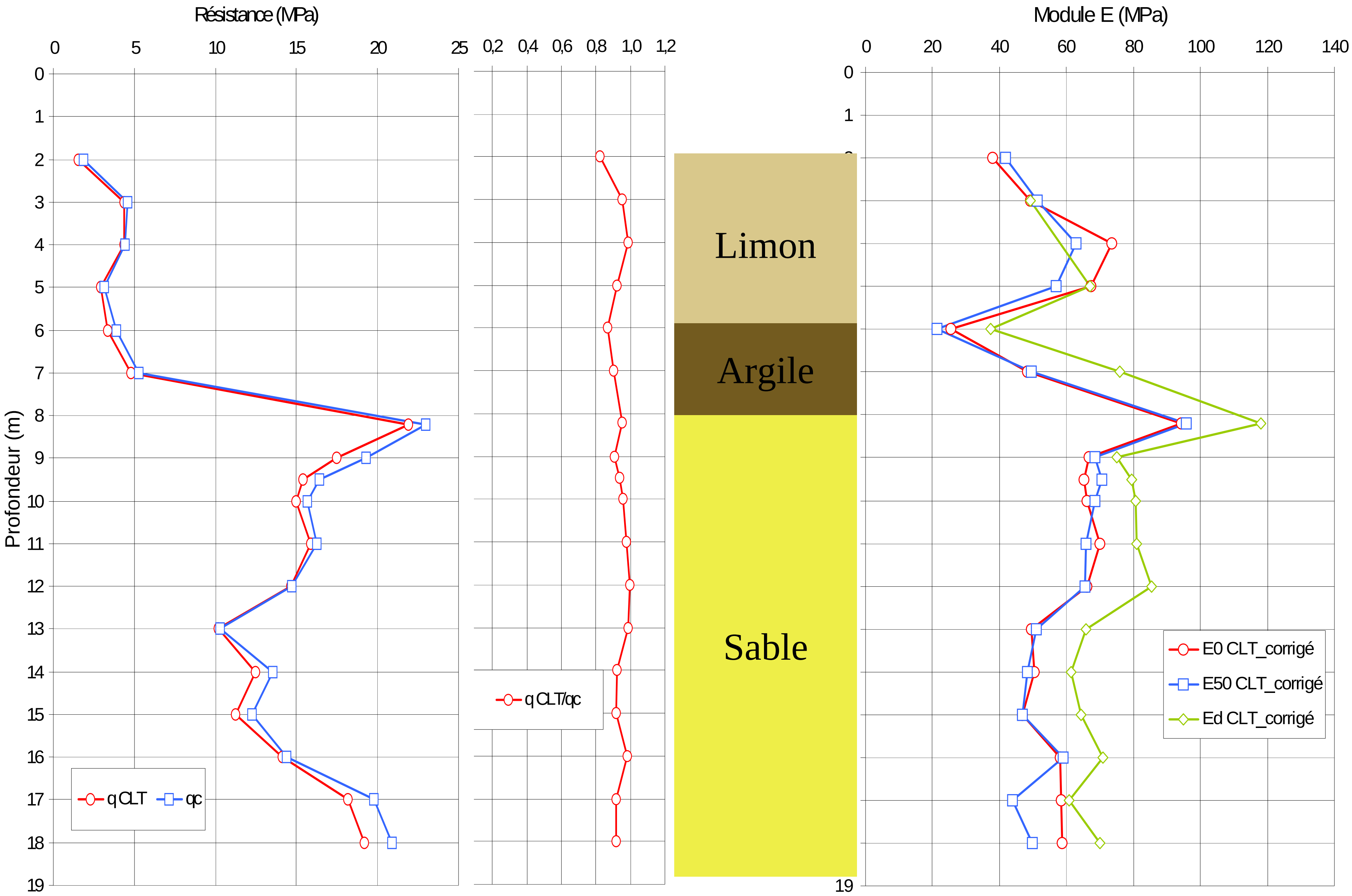


Charge limite q_{CLT} et frottement latéral limite fs $_{CLT}$

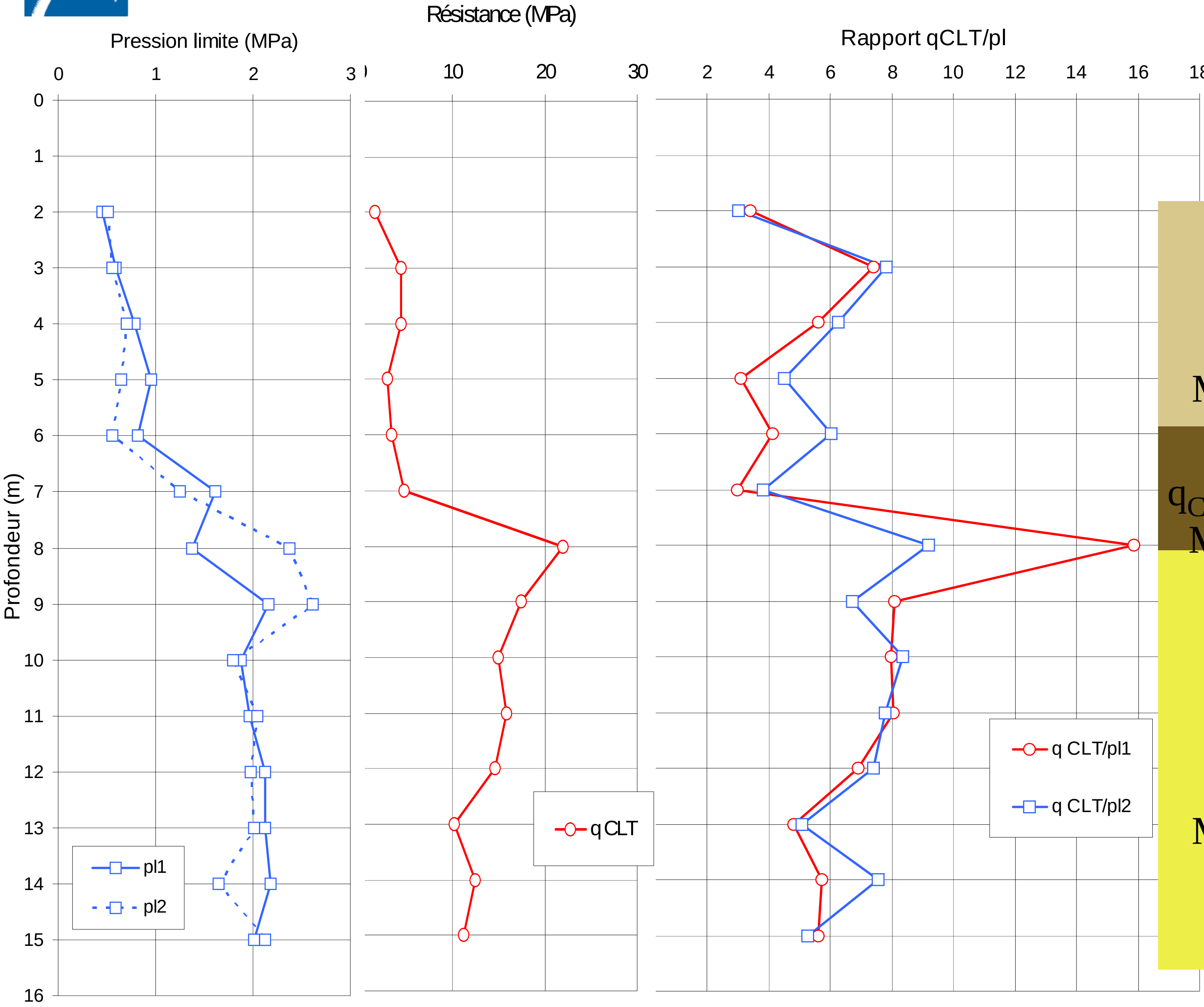


- Pour chaque essai CLT, 3 modules sont calculés
  - Le module tangent initial $E_{0\ CLT}$
  - Le module à 50 % de chargement
  - Le module de déchargement $E_{d\ CLT}$

Synthèse : modules et charges limites



II. Comparaison avec les essais PMT



Limon

Moy $(q_{CLT}/pl) = 5,6$

Moy $(q_c/pl) = 6$

Moy $(q_c/pl)_{CSTC} = 5,9$

Argile

$q_{CLT}/pl = 3,4$; $q_c/pl = 3,8$

Moy $(q_c/pl)_{CSTC} = 4,4$

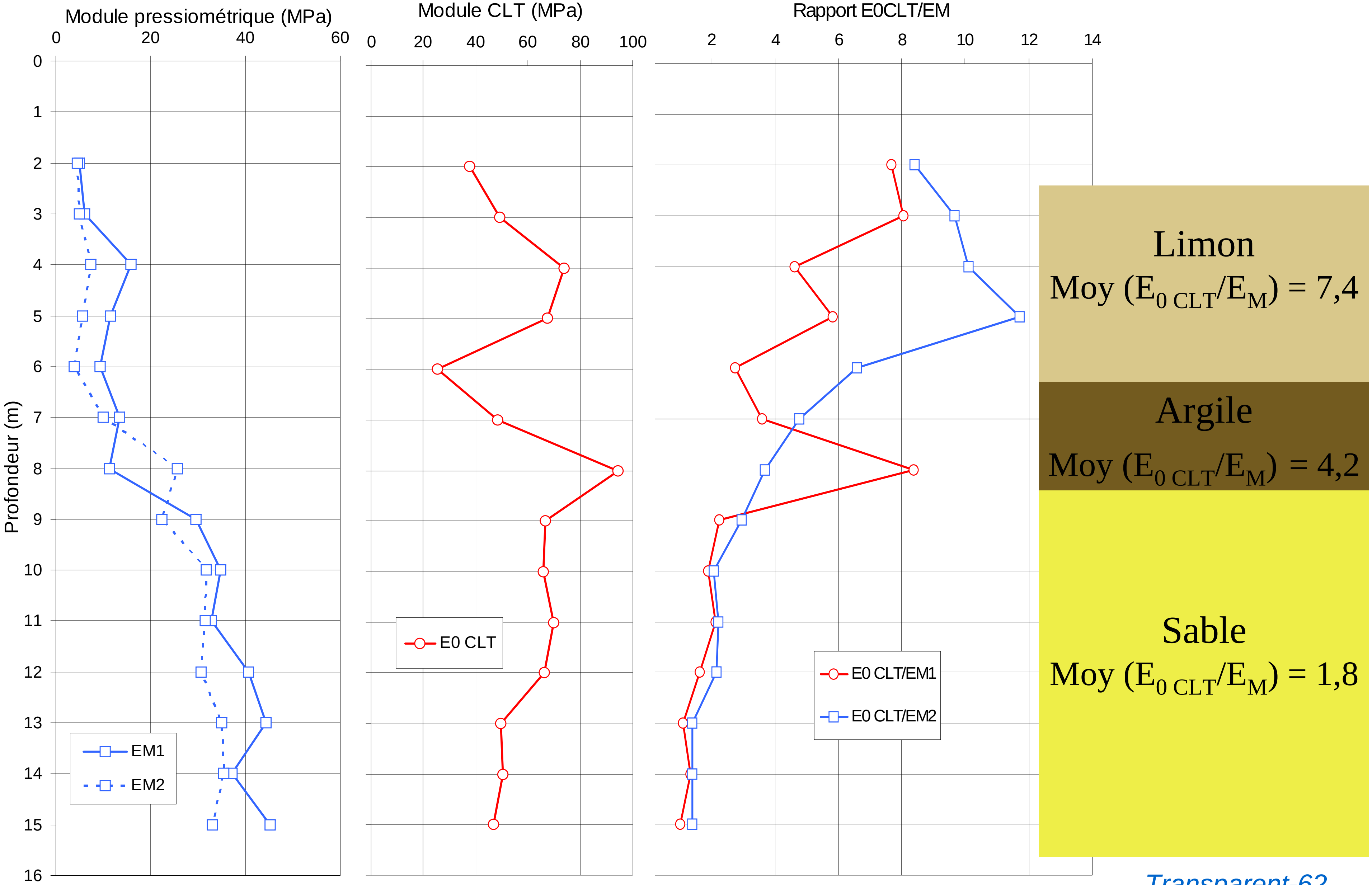
Sable

Moy $(q_{CLT}/pl) = 7,5$

Moy $(q_c/pl) = 7,95$

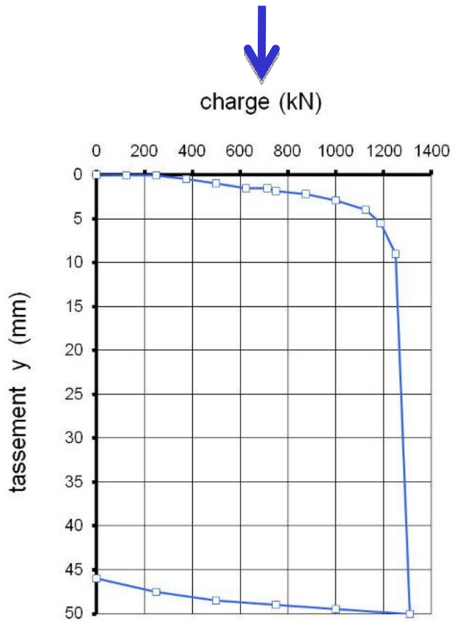
Moy $(q_c/pl)_{CSTC} = 8,9$

II. Comparaison avec les essais PMT

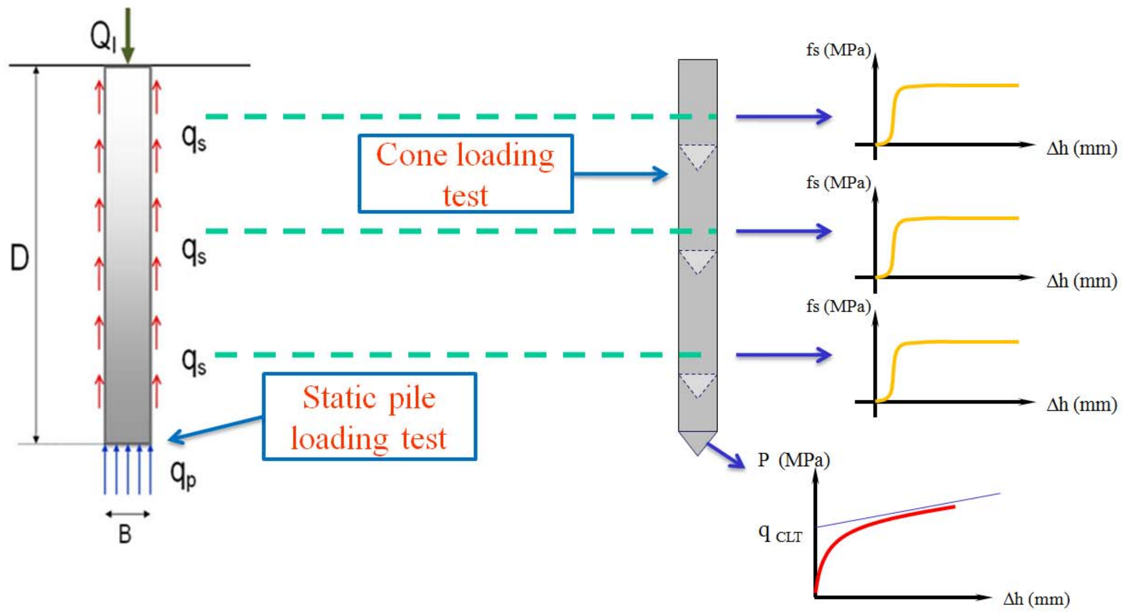


Méthode CLT pour le dimensionnement des pieux

- Introduction
  - La pointe peut être considérée comme un modèle réduit de pieux
  - La déformation autour de la pointe est similaire à celle autour du pieux
- Objectif
  - Déterminer la capacité portante du pieu
  - Obtenir les courbes t-z (charge-déplacement) / estimation et normalisation



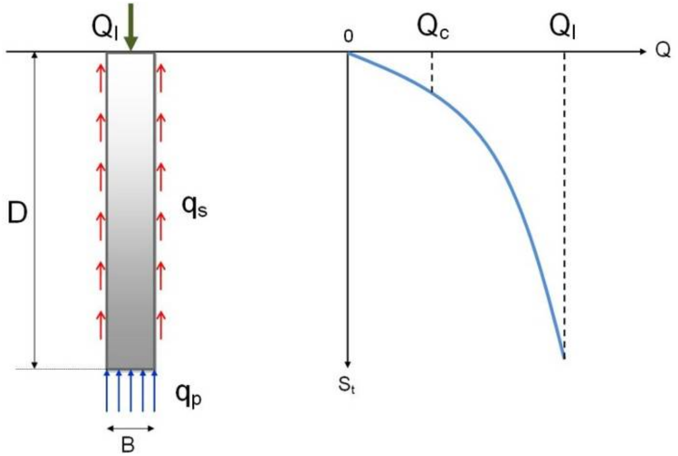
ance et essa



Détermination de la capacité portante des pieux

- *Essai de chargement statique de pieux*

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su}$$



Q_{pu} charge limite de pointe
Q_{su} charge limite de frottement latéral

- *A partir des résultats de l'essai de chargement de pointe*

$$Q_{pu} = k_p . q_{CLT} . \pi . B^2 / 4$$

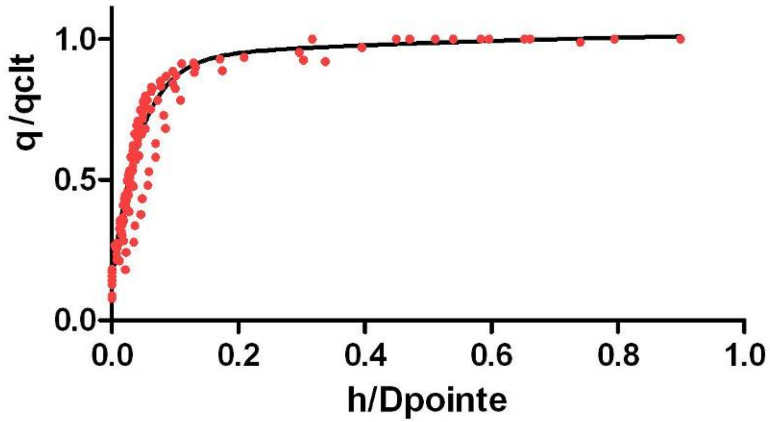
$$Q_{su} = \sum_i^n k_s . f_{sCLT} . \pi . B . l_i$$

k_p : facteur du terme de portance,
k_s : facteur du terme de frottement,
B : diamètre du pieu,
f_{sCLT} : frottement latéral ultime de la couche i (CLT)
l : epaisseur de la couche i
q_{CLT} : charge limite en pointe : (essai CLT)

Estimation du tassement des pieux
Normalisation des courbes CLT

Courbes de chargement de pointe CLT

Normalisation de la charge appliquée sur la pointe par q_{CLT} et normalisation du déplacement par le diamètre de la pointe, puis faire une régression non linéaire pour obtenir une courbe de référence



Multiplier (h/d pointe) par d pieu → déplacement du pieu

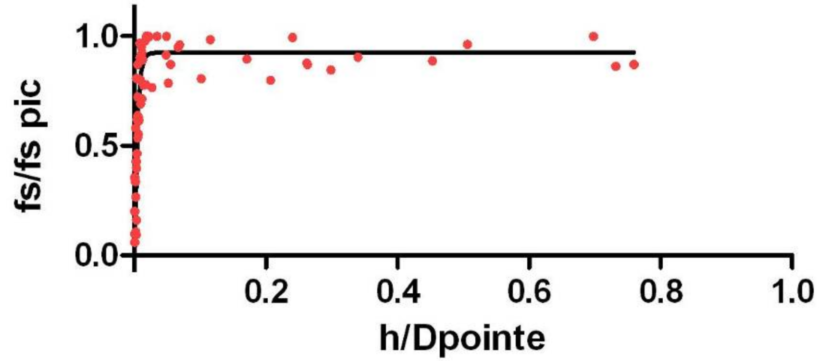
Multiplier (q/q_{CLT}) par Qpu (Méthode CLT) → l'effort de pointe du pieu

Estimation du tassement des pieux

Normalisation des courbes CLT

Courbes de mobilisation de frottement fs $_{CLT}$

Normalisation du frottement par la valeur maximale fs_{CLT} et normalisation du déplacement régression non ce

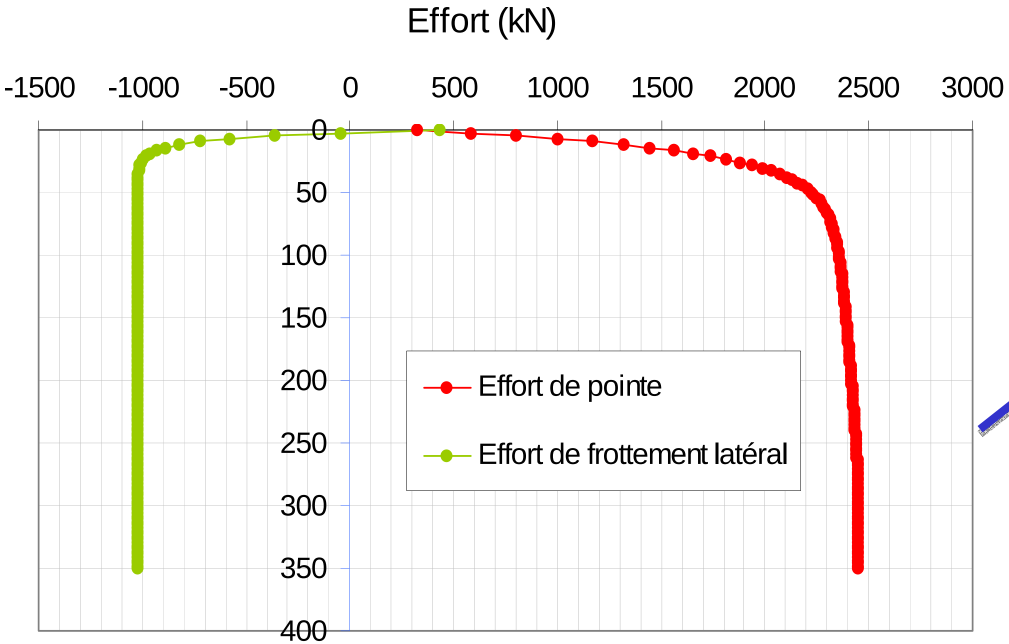


Multiplier (h/d pointe) par d pieu → déplacement du pieu

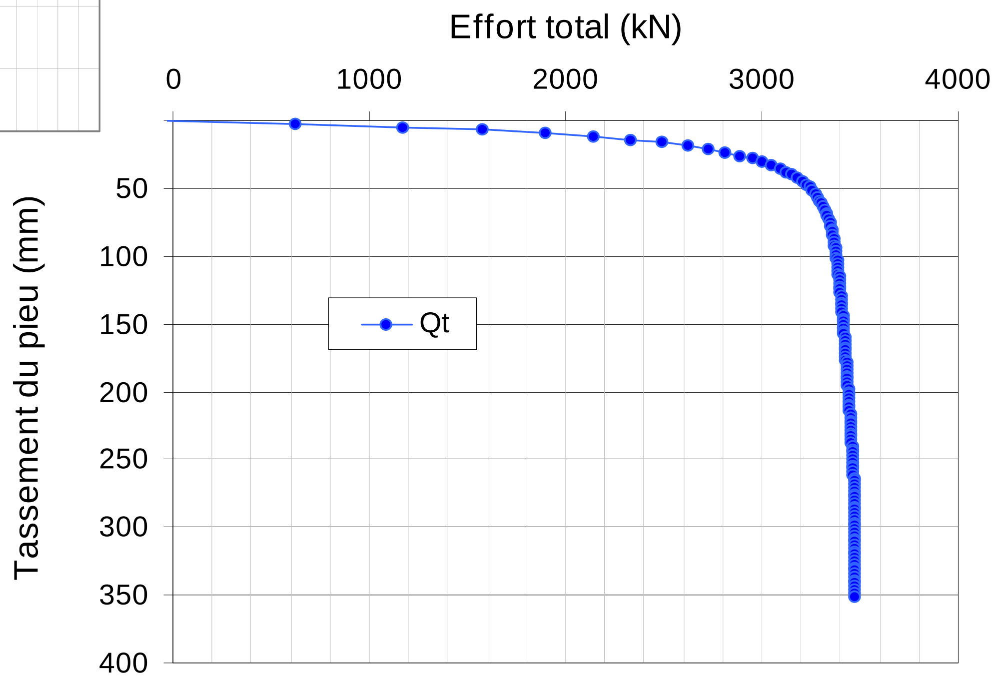
Multiplier (fs/fs_{pic}) par Qsu (Méthode CLT) → l'effort de frottement du pieu

Estimation du tassement des pieux

Exemple des courbes (t-z) obtenues

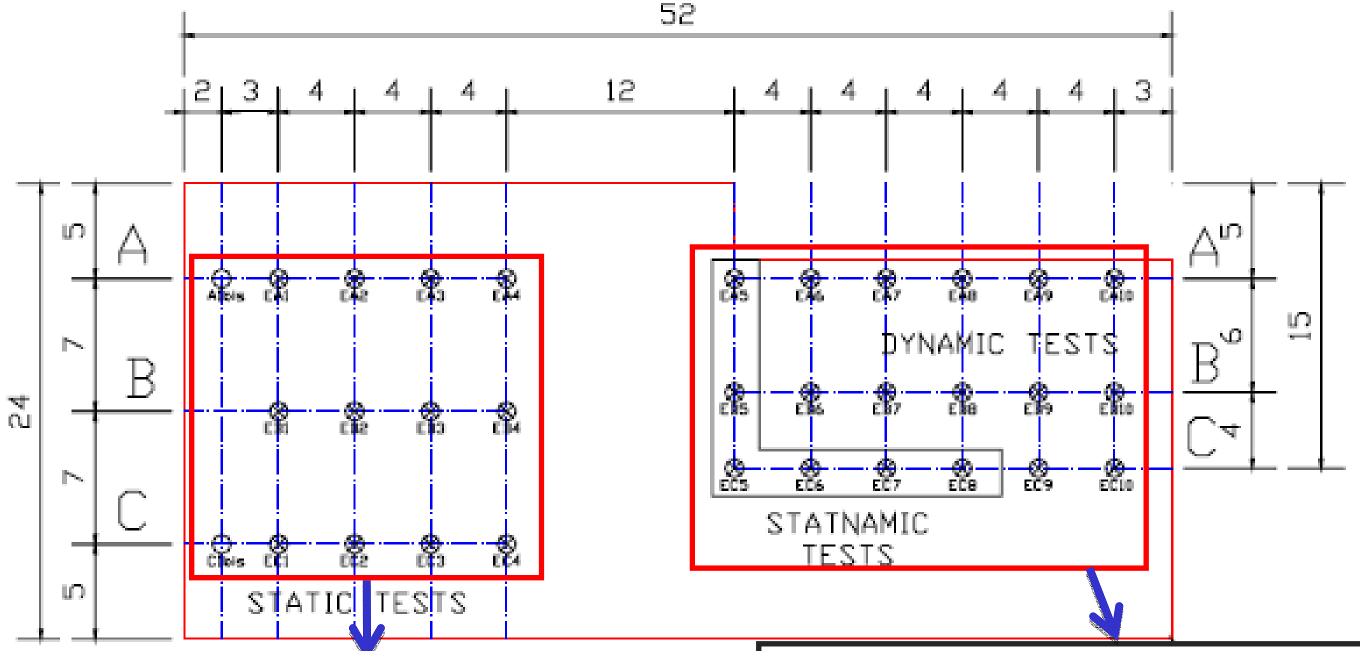


Courbes effort/tassement



Courbe (t-z) finale

Essais de pieux réalisés à Limelette



Essais de chargement statique des pieux

Essais de chargement dynamique/statnamique des pieux

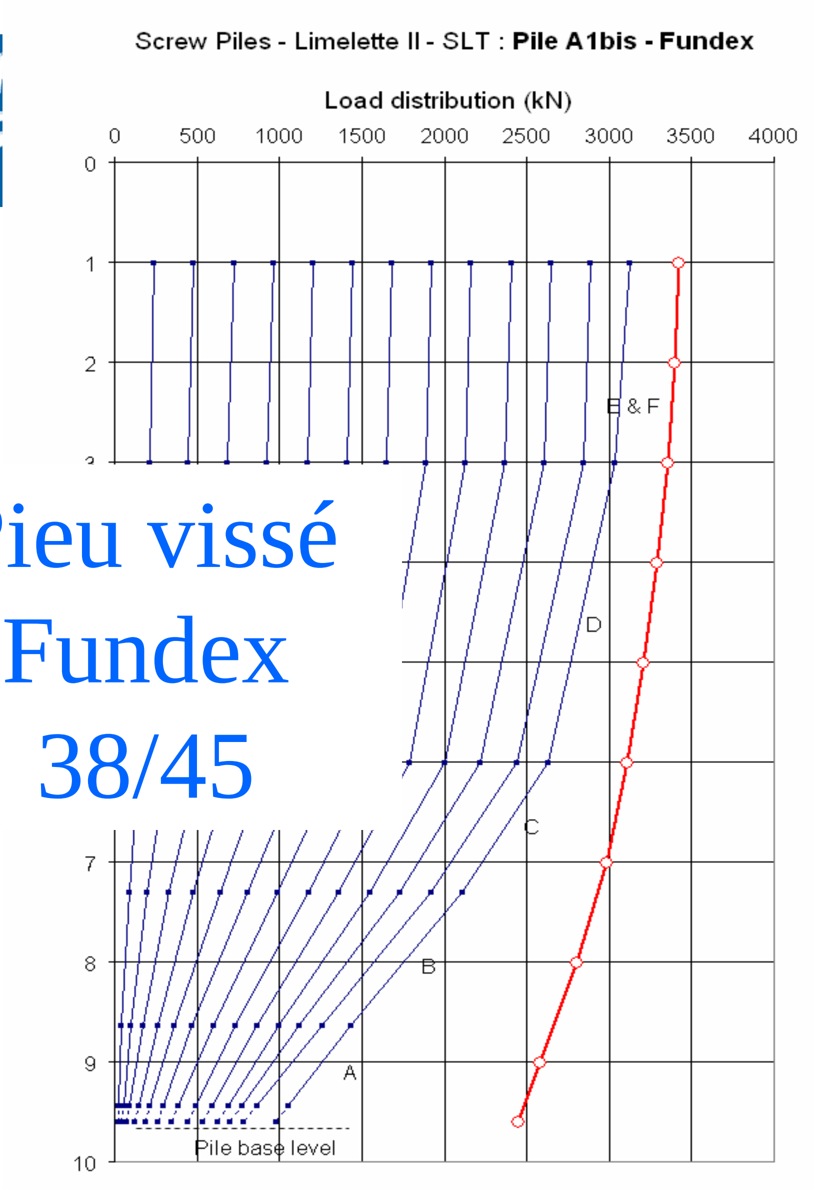
La méthode CLT a été appliquée sur 11 pieux de la zone statique :

Pieux vissés
- Fundex 38/45 (A1bis)
- Atlas 36/51 (B3 et B4)
- Olivier 36/51 (A2 et C2)
- De Waal 41/41 (A4 et C4)
- Omega 41/41 (A3 et C3)

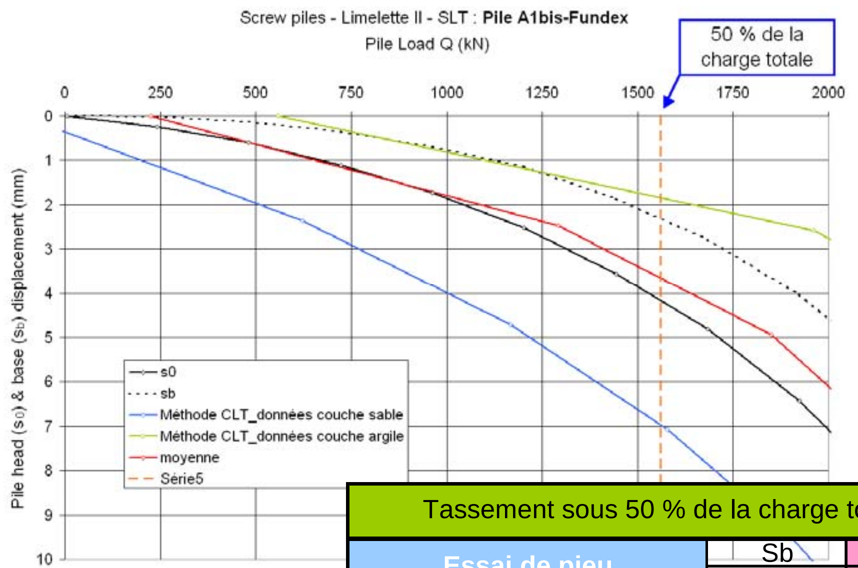
Pieux préfabriqués battus
- Pieux de référence (B1 et B2)



Pieu vissé Fundex 38/45



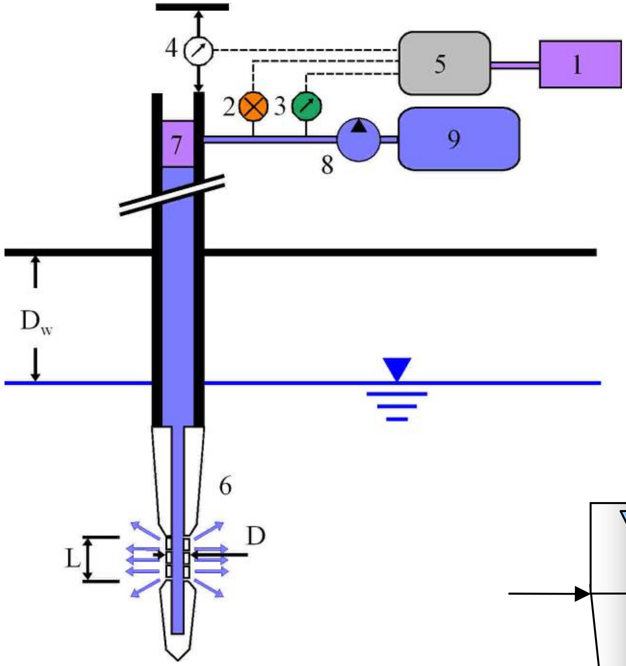


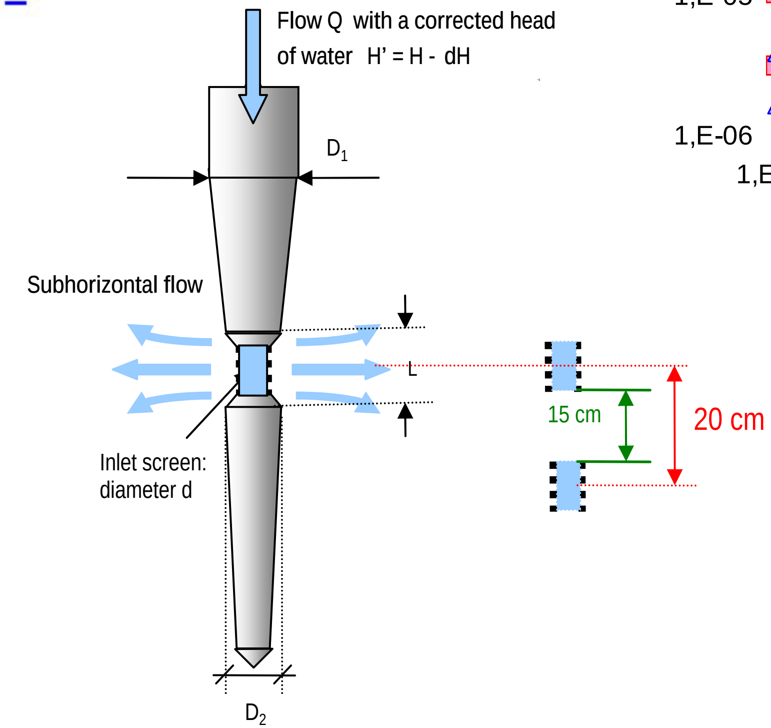


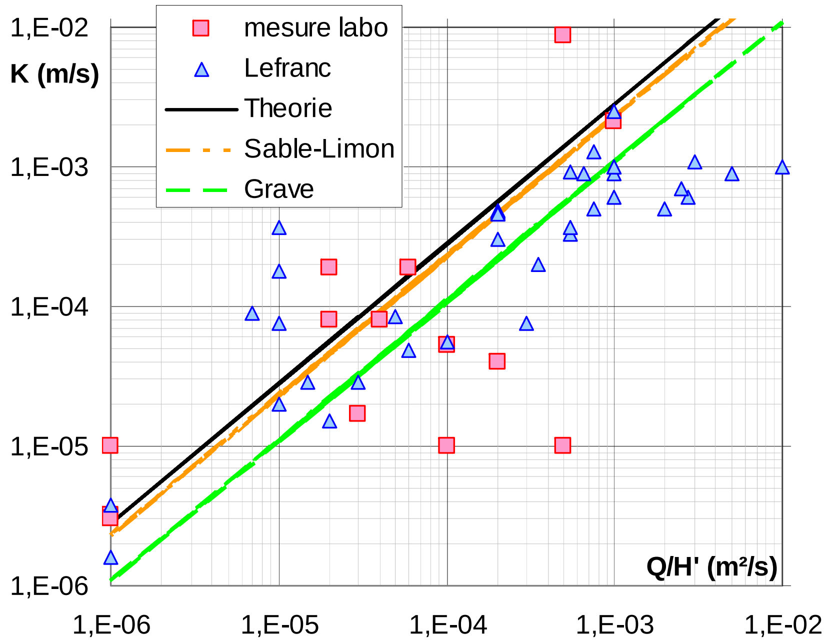
Tassement sous 50 % de la charge totale		
Essai de pieu	Sb	2,30
	S0	4,10
Méthode CLT	moyenne	3,70

Pieu	mode de mise en place	Type	D fut (mm)	D pointe (mm)	Z pointe (m)	Essai de chargement statique du pieu		Méthode du CLT		Facteur	
A1bis	Vissé Fundex 38/45	Statique	390	450	9,59	Qp (kN)	1059	Qp_CLT	2448	Kp	0,43
						Qs (kN)	2064	Qs_CLT	972	Ks	2,12
						Qt (kN)	3123	Qt_CLT	3420	Kt	0,91

Perméafor



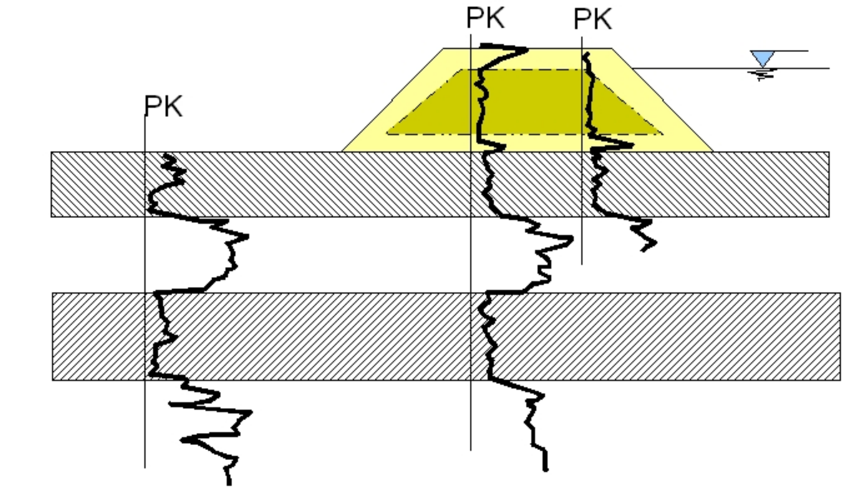


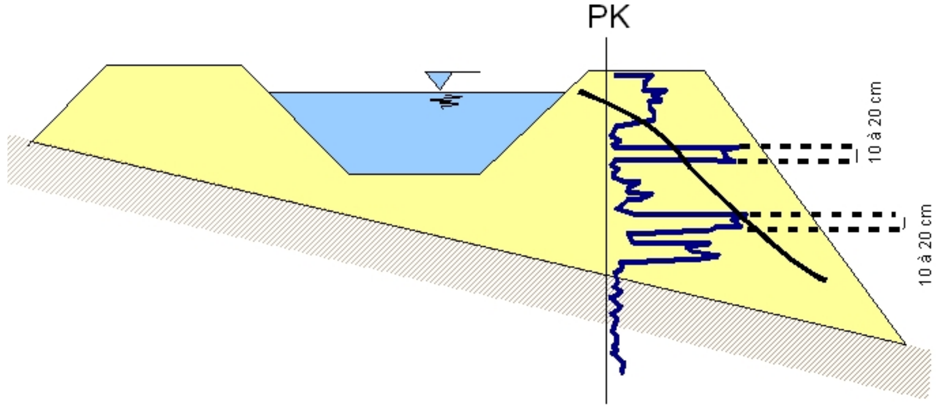


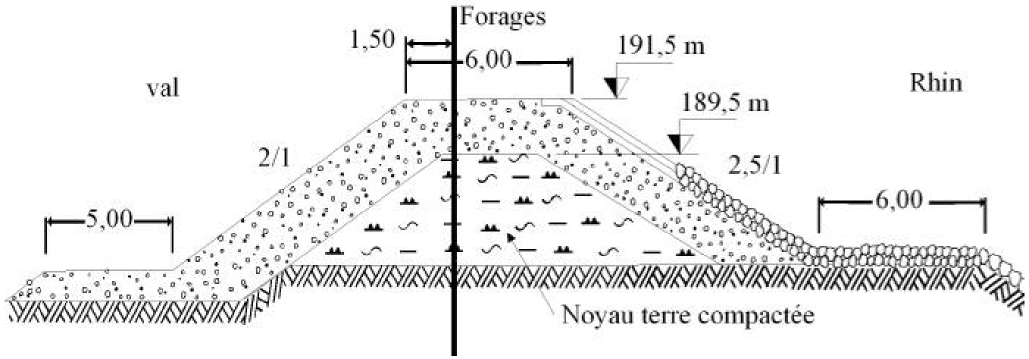
$$Q = \frac{2.\pi.L/D}{\ln\left(L/D + \sqrt{L^2/D^2 + 1}\right)}.K.H'.D$$

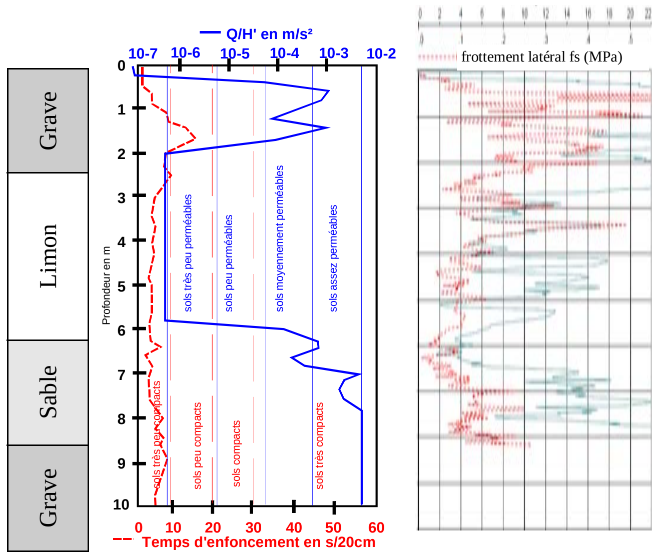
LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

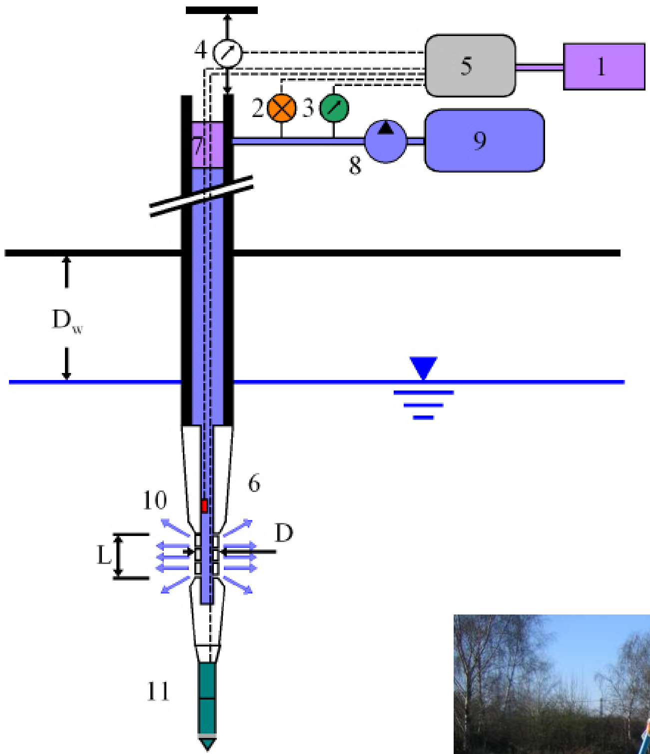
Perméafor

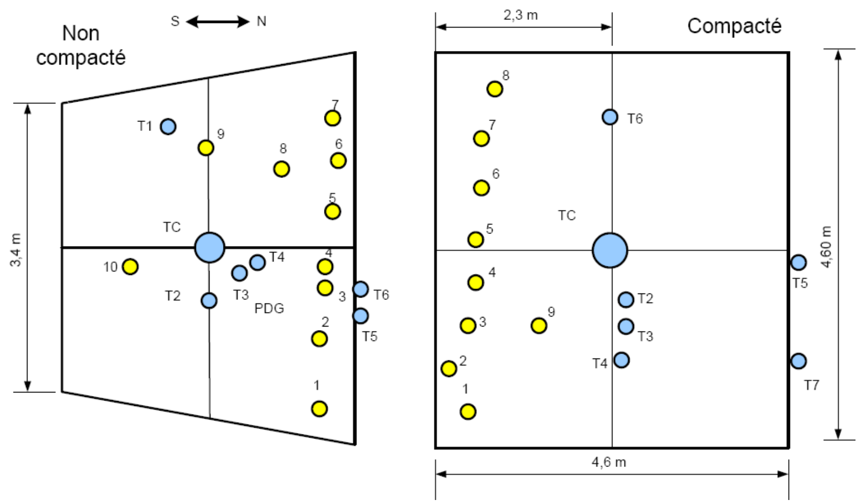









4
5
1
2
3
9
7
8
D_w
10
6
D
L
11

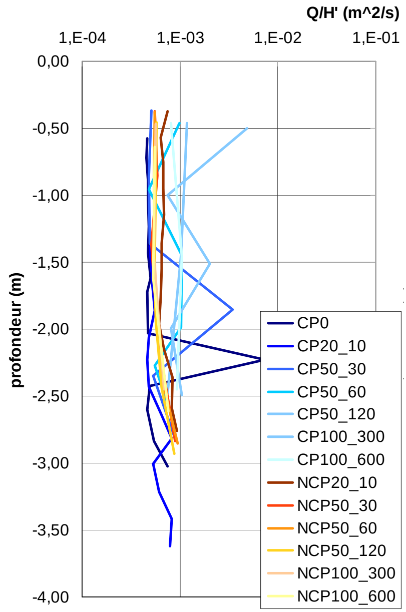

Non compacté
S
N
3,4 m
TC
T1
T2
T3
T4
T5
T6
PDG
Compacté
2,3 m
4,6 m
4,60 m
TC
T2
T3
T4
T5
T6
T7

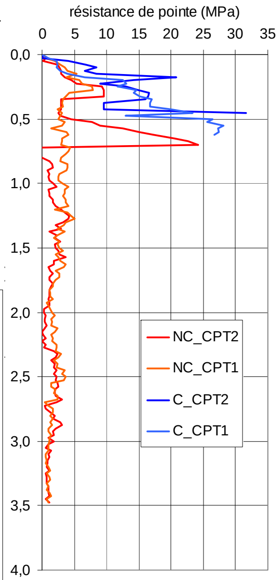


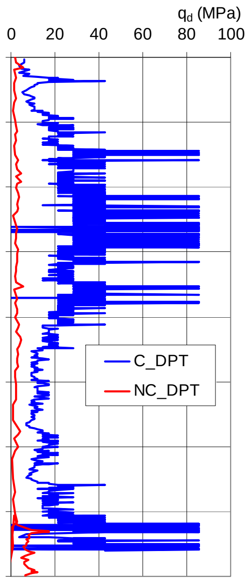


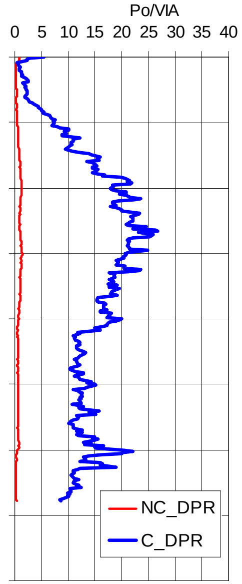
LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

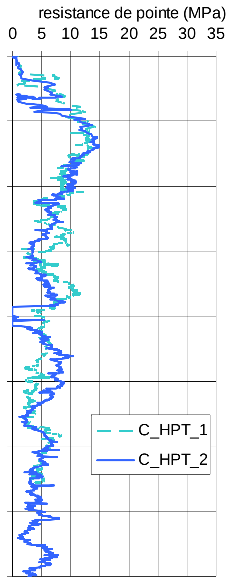
Grave







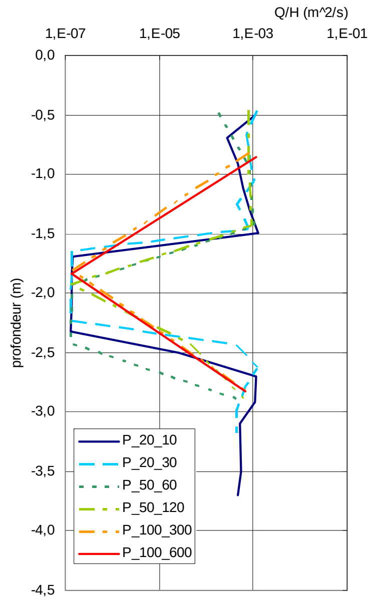


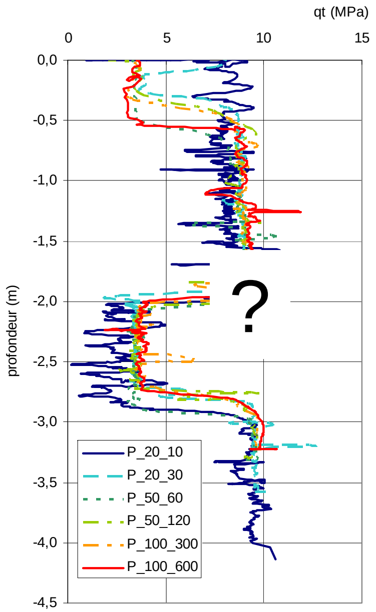


Grave

Limon

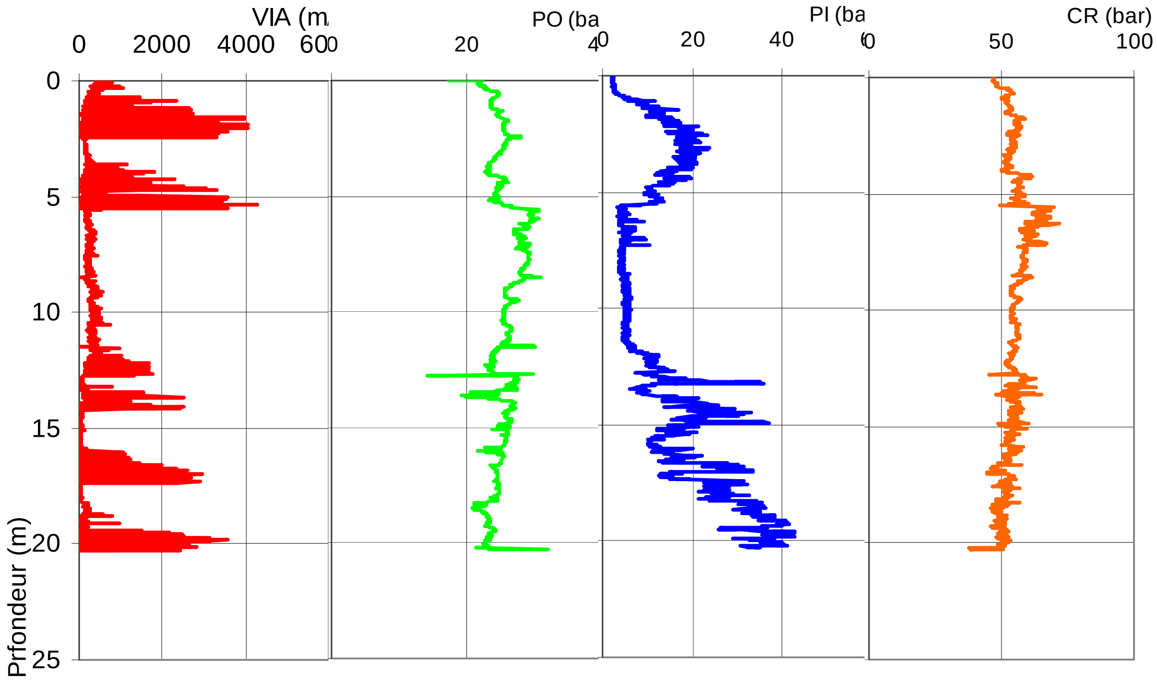
grave

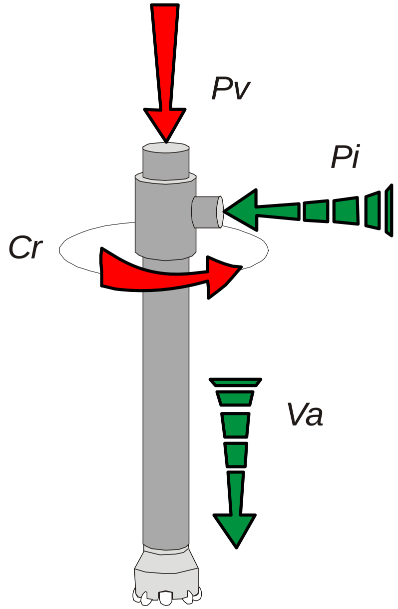




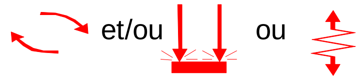
Paramètres de forage

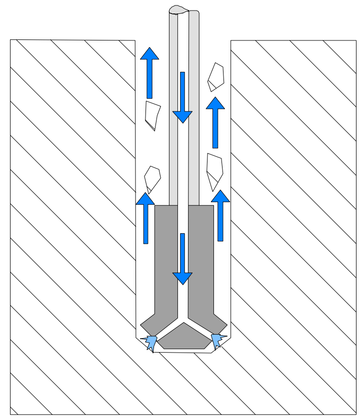
- Paramètres de forage mesurés usuellement
  - Vitesse d'avancement
  - Poussée sur outil
  - Pression d'injection
  - Couple de rotation



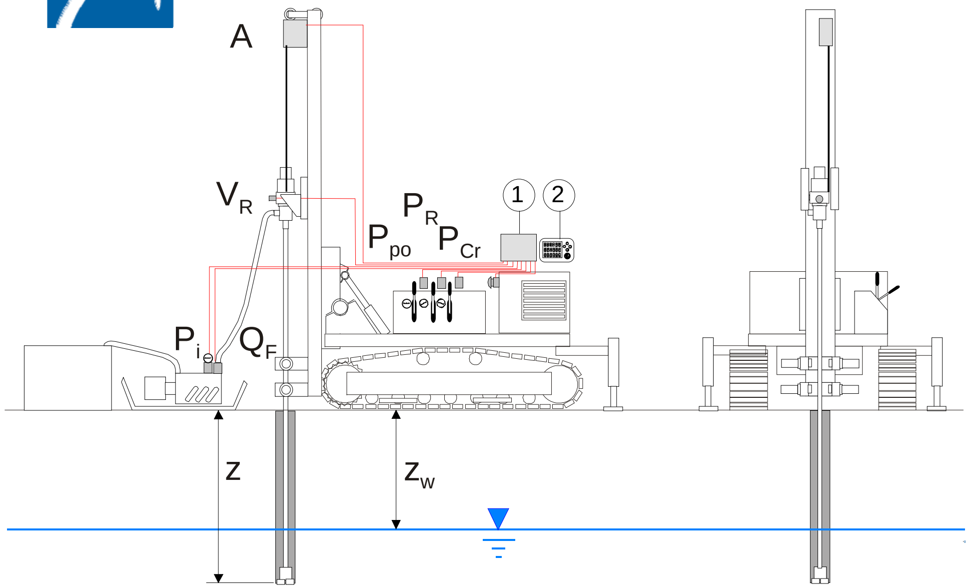


mode de foration

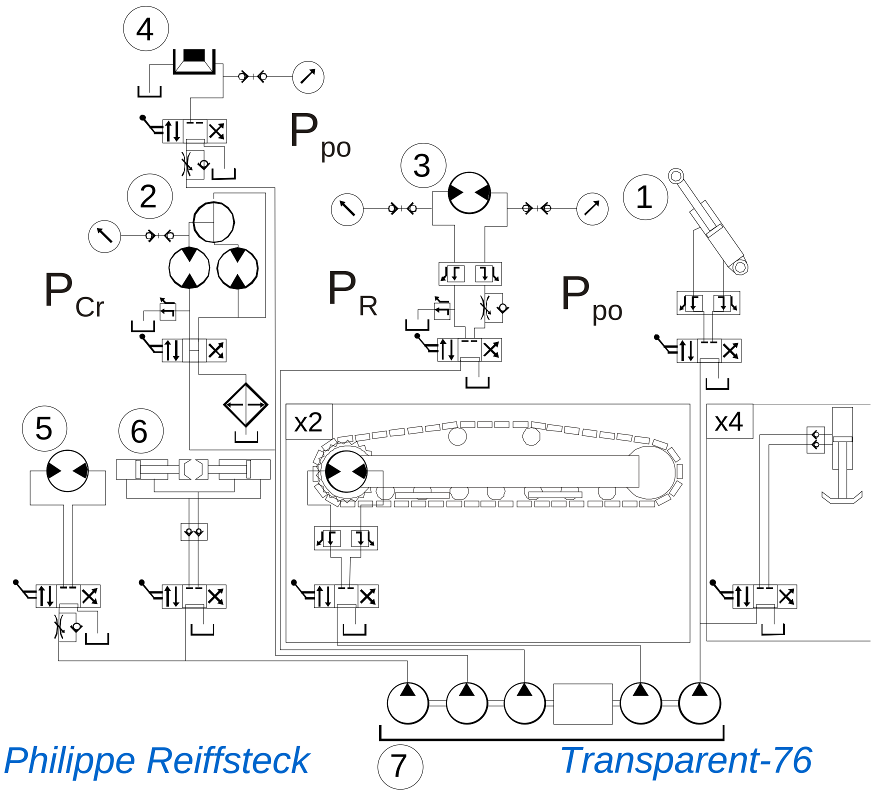




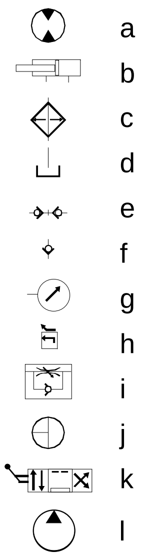
Paramètres de forage



- Légende :
  - 1 : vérin mât
  - 2 : moteur de rotation
  - 3 : moteur d'avance
  - 4 : marteau
  - 5 : pompe de fluide de forage
  - 6 : mors du frein de tige
  - 7 : groupe hydraulique

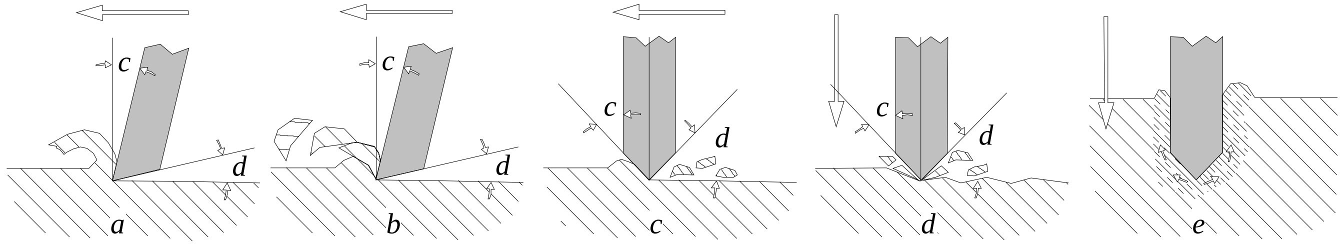


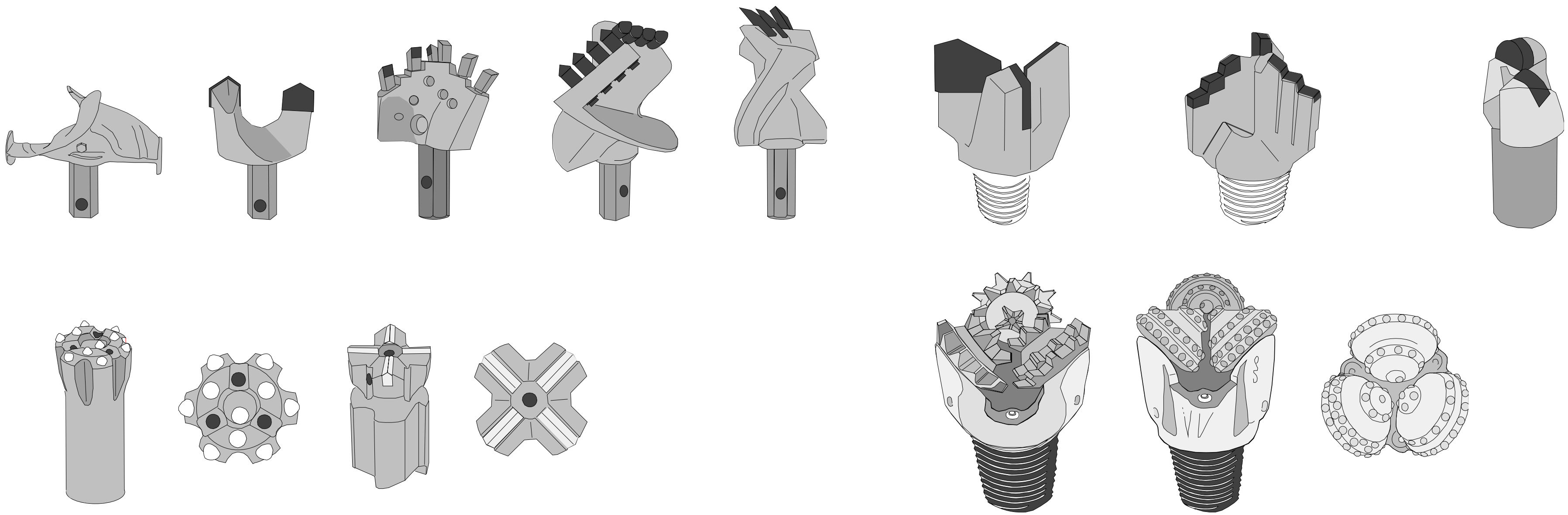
symboles hydrauliques usuels :
a : moteur,
b : vérin,
c : refroidisseur,
d : réservoir,
e : coupleur,
f : clapet anti-retour,
g : manomètre,
h : limiteur,
i : étrangleur variable avec clapet anti-retour,
j vanne trois voies,
k : distributeur avec commande à levier,
l : pompe



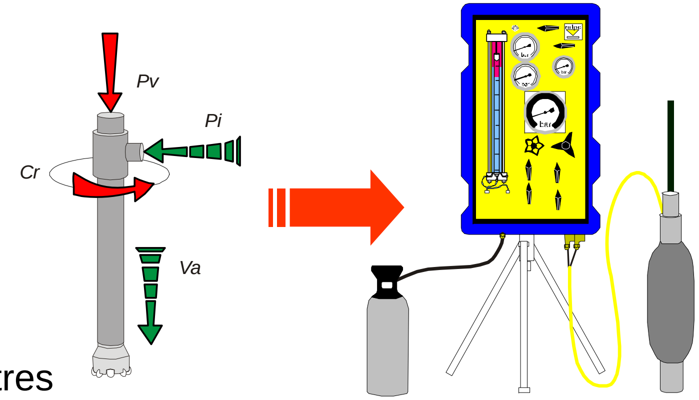
Paramètres de forage

- On peut distinguer cinq modes d'actions, principaux suivant le type d'outil :
  - l'usinage,
  - l'usure,
  - l'éclatement,
  - la mise en suspension,
  - le fluage.

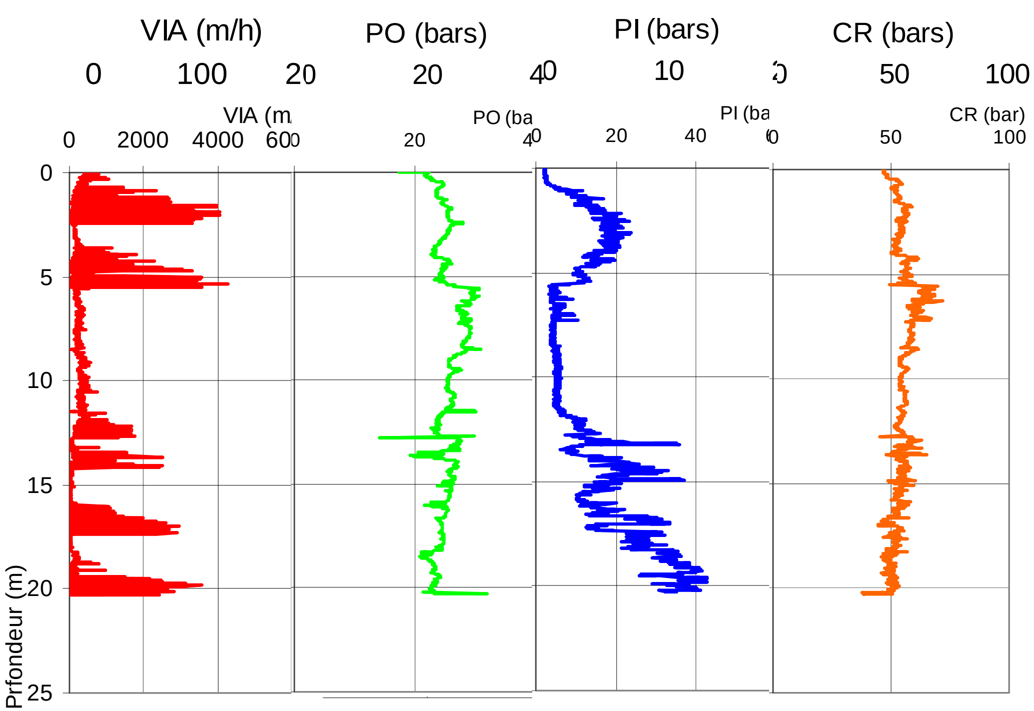


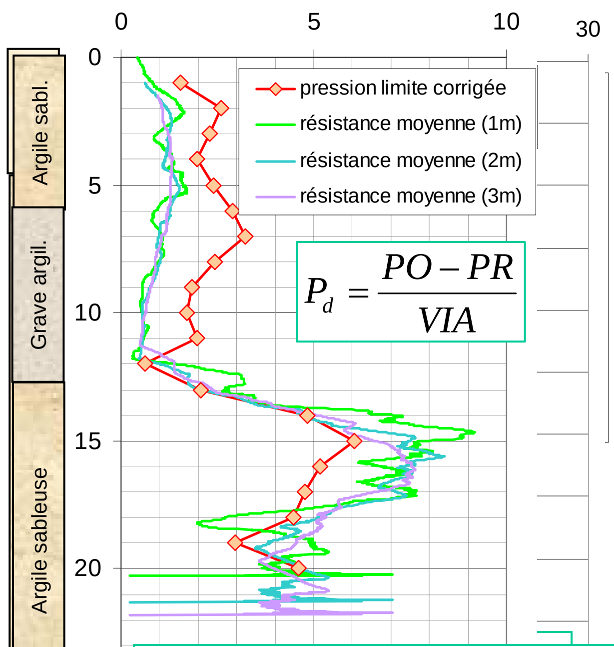


Paramètres de forage



- Combinaison de paramètres (énergie spécifique, Somerton…)
  - Objectif s'affranchir des paramètres lister précédemment : machine, outil
  - Normaliser les paramètres machine pour obtenir des paramètres physiques corrélables avec des caractéristiques géotechniques
- Utilisation :
  - Lithologie
  - corrélation des paramètres dérivés (combinaisons) avec paramètres géotechniques : q_c, E_M possible ?





A65 - rotopercussion

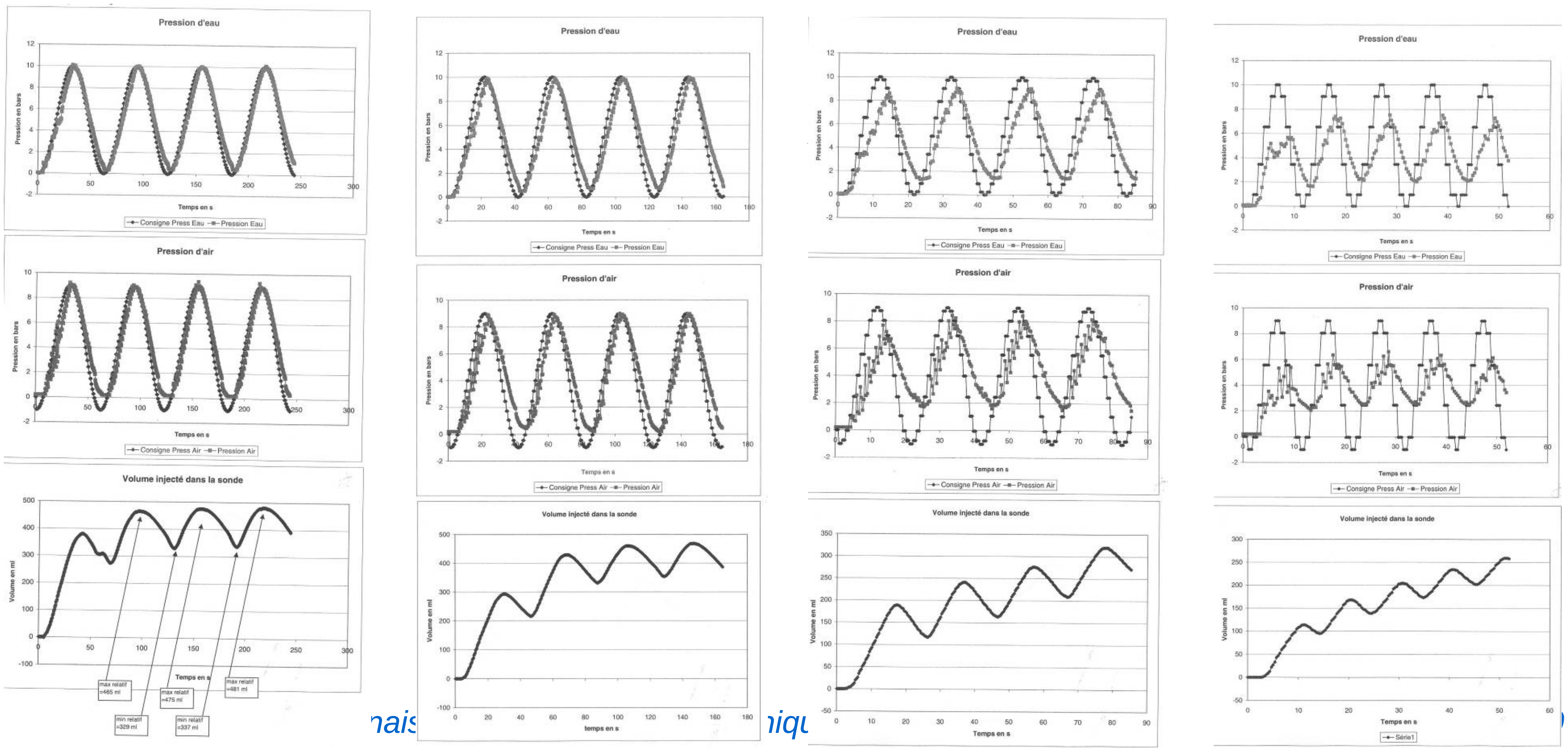
SBP et CPT Cyclique

- Matériel utilisé
  - CPV Lutz
  - Remplacement du BAP60 par un PC



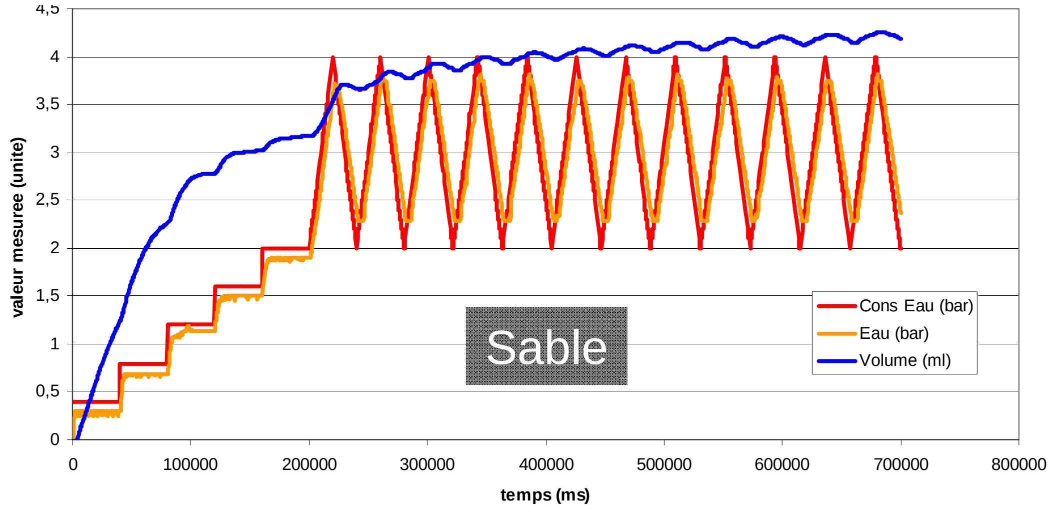
SBP et CPT Cyclique

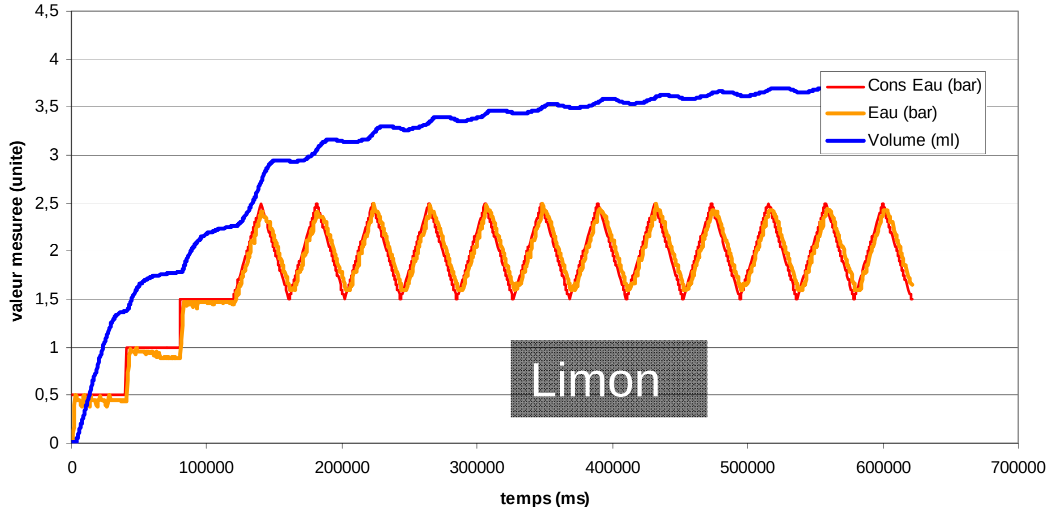
- Modification d'un CPV automatique d'un fournisseur :
  0,016 – 0,025 – 0,05 - 0,1 Hertz

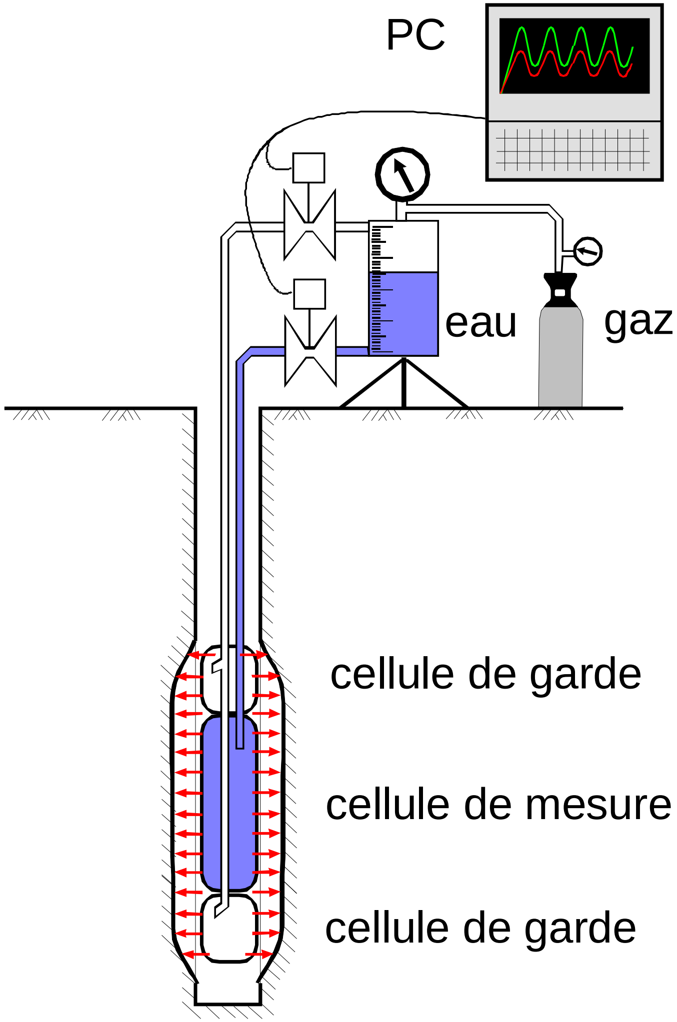


PMT Cyclique

- Essais de Rouen 11/2009

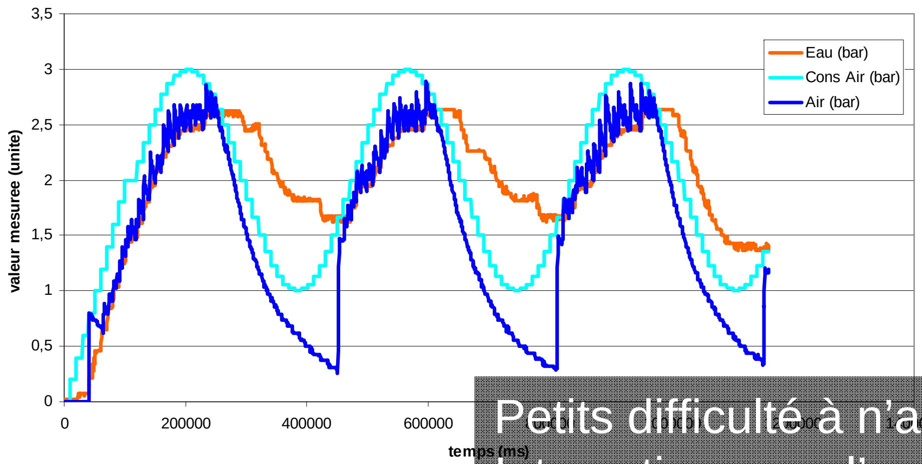




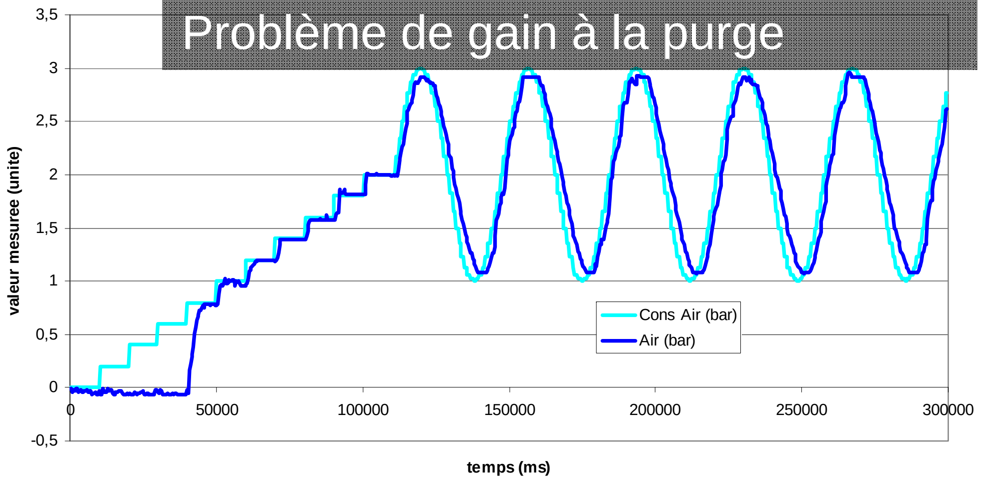


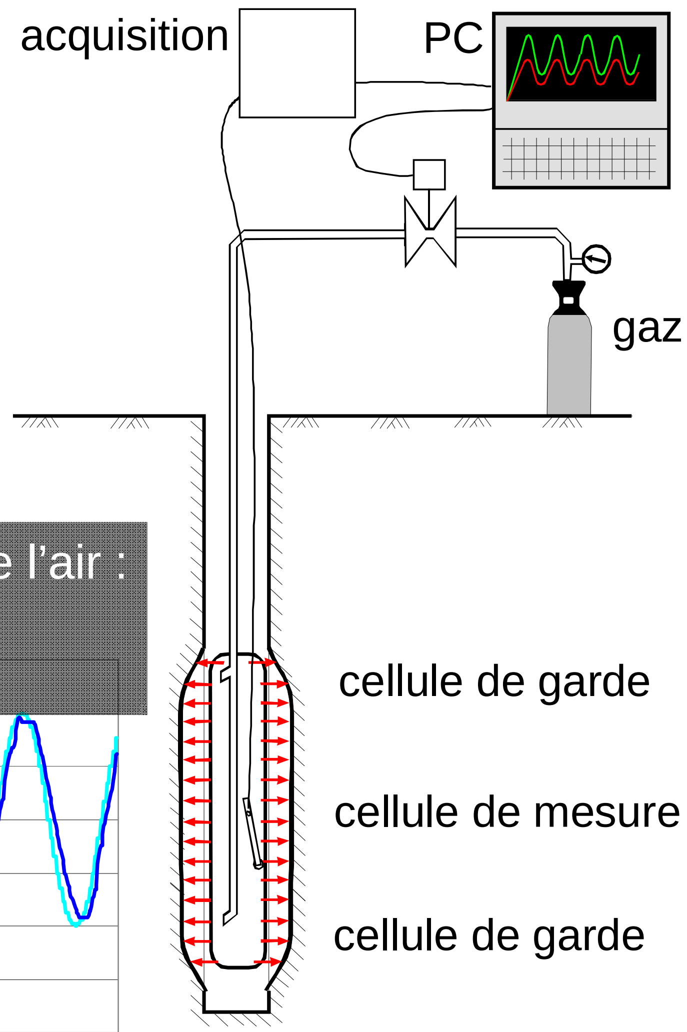
SBP Cyclique

- Essais au LCPC
- Test terrain fin février

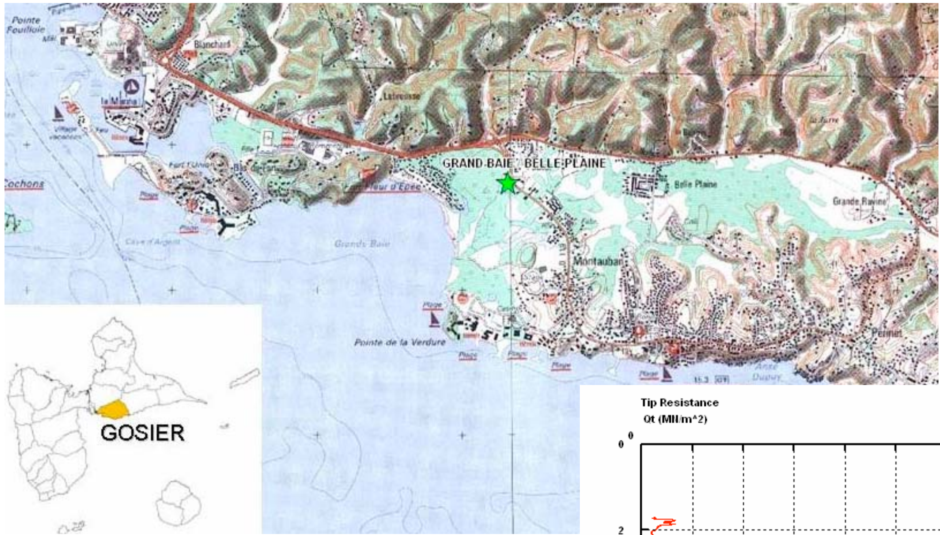


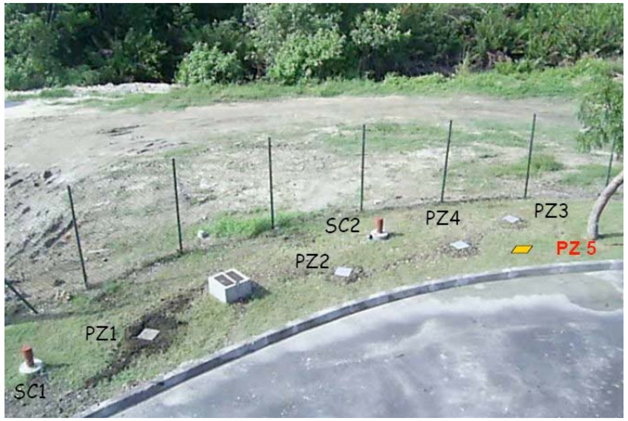
Petits difficulté à n'asservir que l'air :
Interaction avec l'eau
Problème de gain à la purge



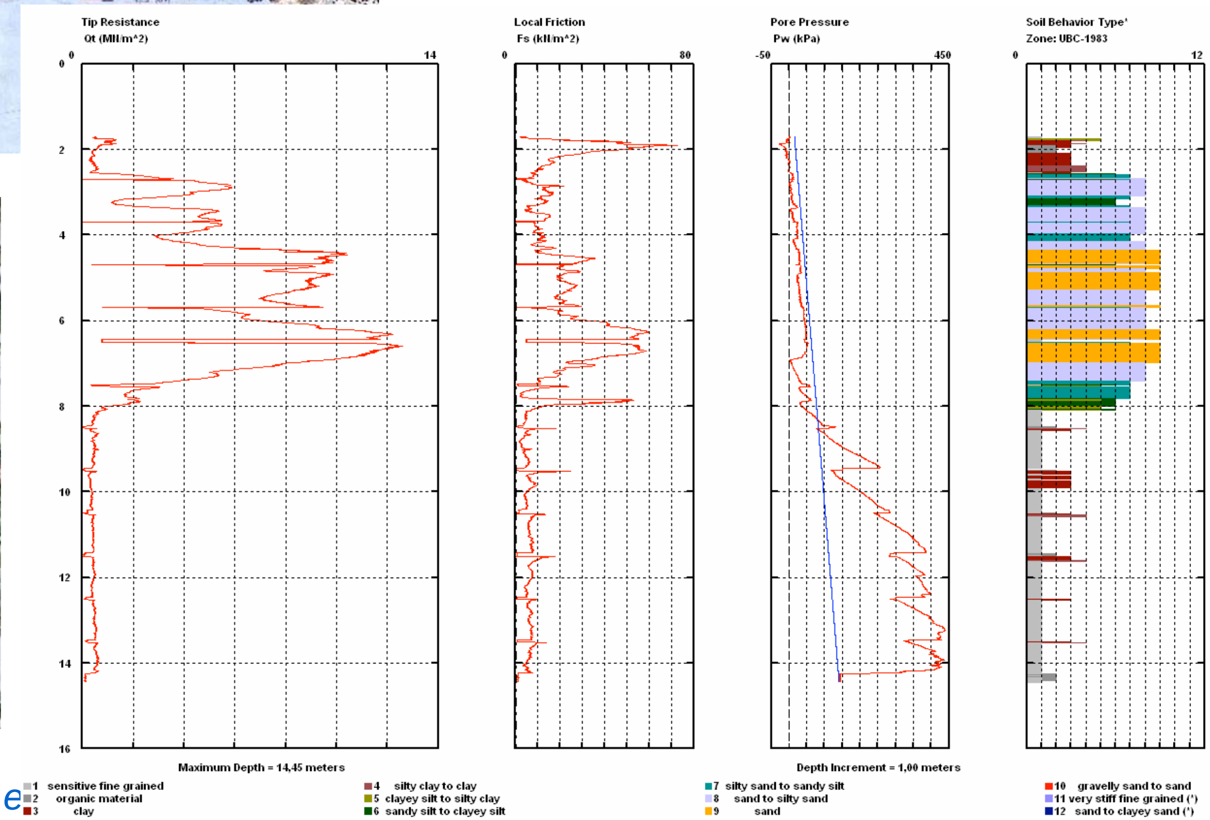


Test on Gosier site

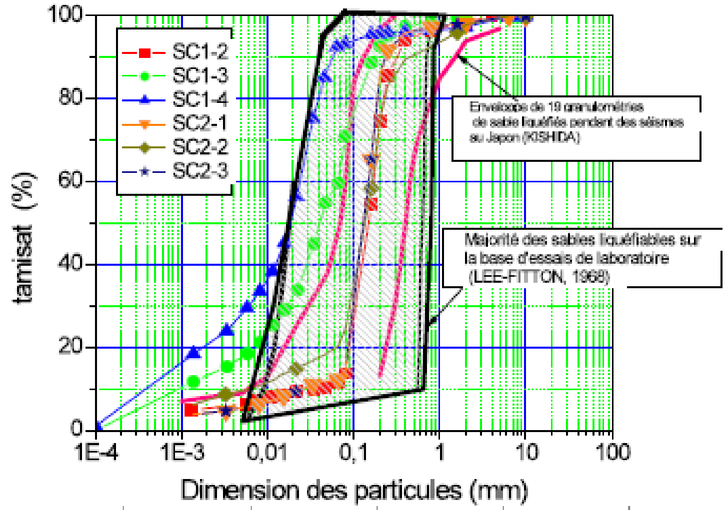


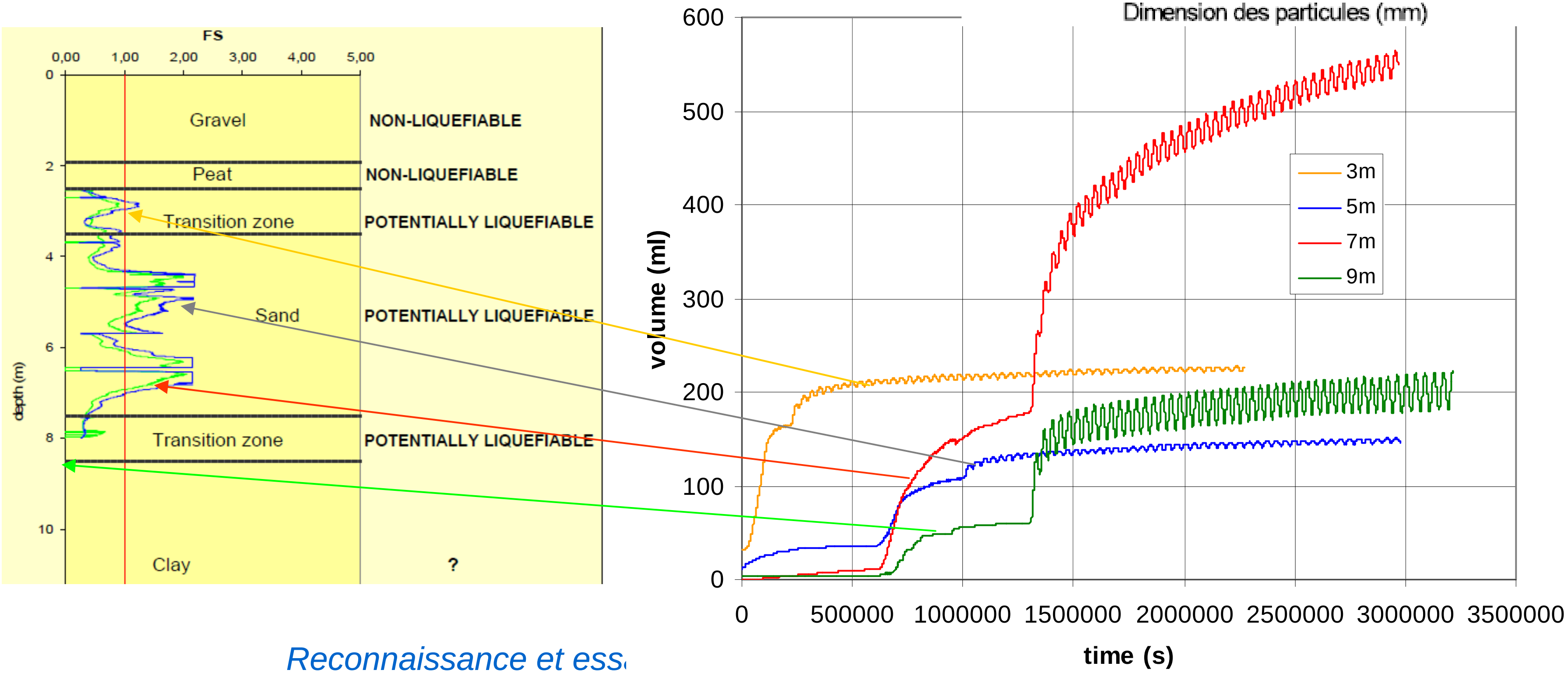






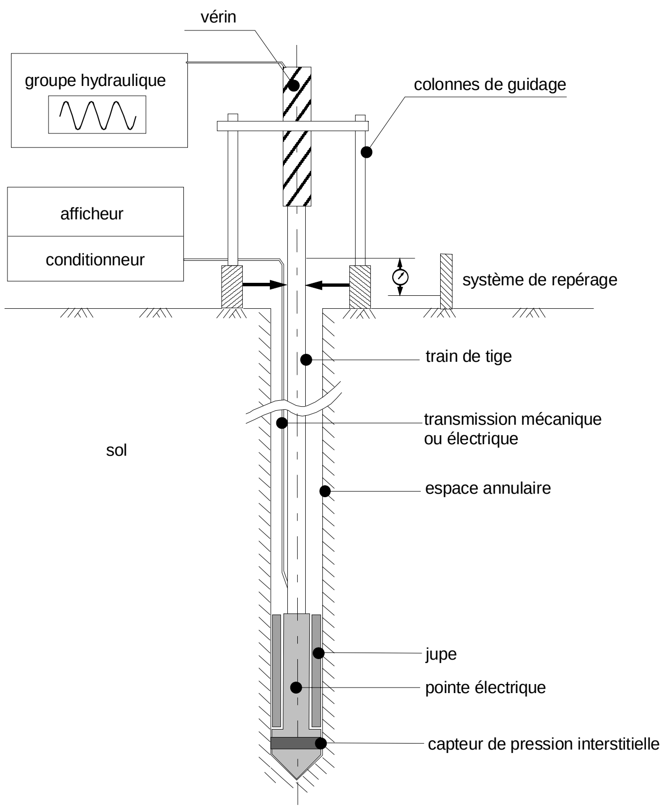
Test on Gosier site

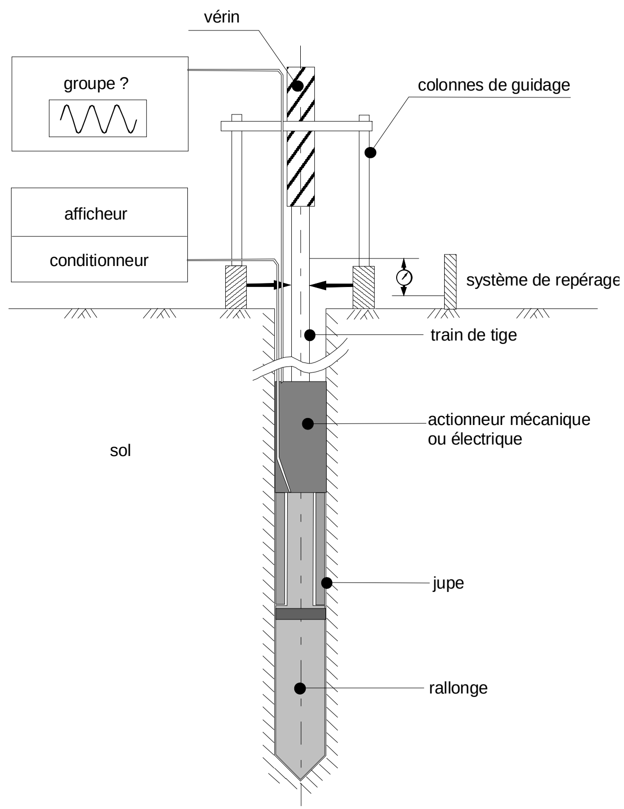




CPT Cyclique

- Les deux architecture possibles





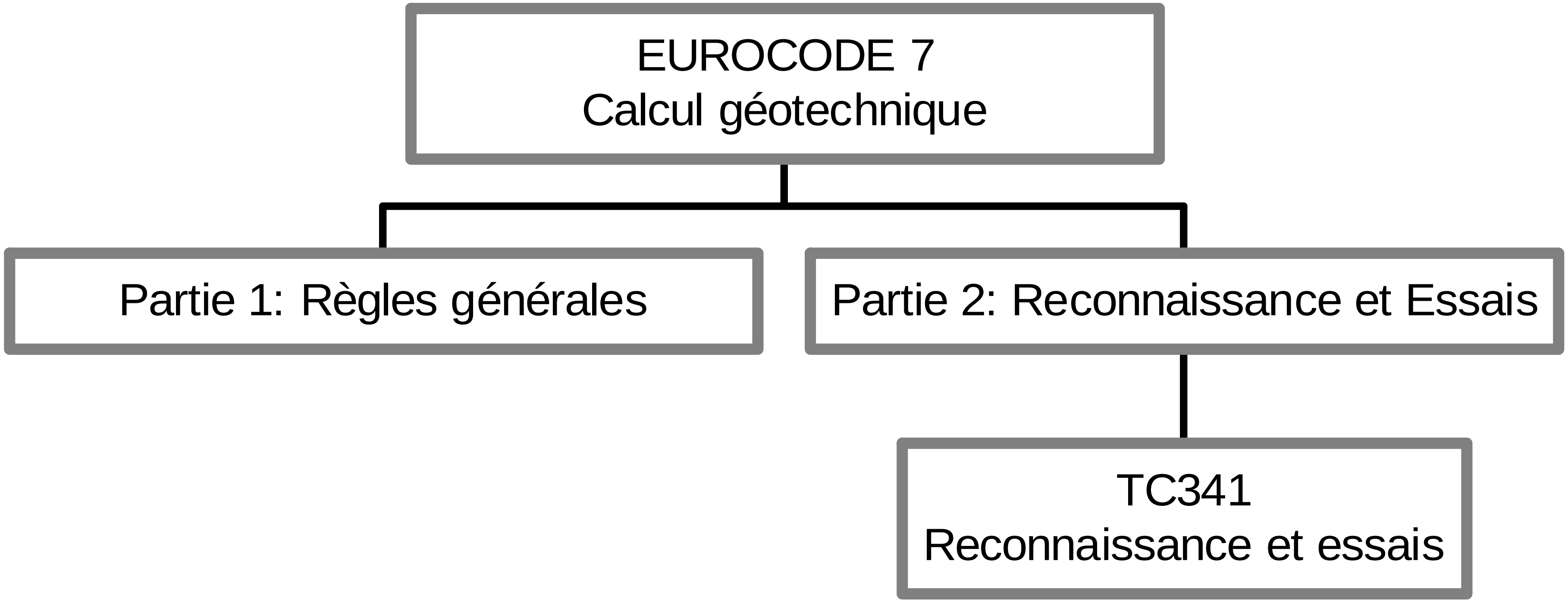
Actions entreprises : Normalisation

- Prélèvement et Essais d’eau (LREP* – LCPC)
- Essais d’expansion en forage (LREP – LCPC)

* G. Bigot et Y. Canépa

LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Normalisation



Normalisation

- TC341 Reconnaissance et essais
  - WG1 forage et prélèvement, piézomètres, essais d'eau
    - EN ISO 22475-1 prélèvement et essais d'eau
    - TS 22475-2 Qualif pers. et entreprises
    - TS 22475-3 Certification pers. et entreprises
    - EN ISO 22282-1 règles générales
    - EN ISO 22282-2 essai perméabilité en forage
    - EN ISO 22282-3 essai de pression d'eau
    - EN ISO 22282-4 essais de pompage
    - EN ISO 22282-5 inflitromètres
    - EN ISO 22282-6 systèmes avec packer
  - WG2 pénétromètre statique, pointe électrique, piézocone
    - EN ISO 22476-1 pointe électrique
    - EN ISO 22476-9 Scissomètre
    - EN ISO 22476-12 pointe mécanique
  - WG3 pénétromètre dynamique, SPT
    - EN ISO 22476-2 pénétromètre dynamique
    - EN ISO 22476-3 SPT
  - WG4 essais de structures
    - EN ISO 22477-1 essai de pieu compr stat
    - EN ISO 22477-2 essai de pieu ext stat
    - EN ISO 22477-3 essai de pieu lateral
    - EN ISO 22477-4 essai de pieu comp dyn
    - EN ISO 22477-5 ancrages
    - EN ISO 22477-6 clous
    - EN ISO 22477-7 armatures de remblai
    - EN ISO 22476-13 essai de plaque
  - WG5 essais d'expansion en forage
    - EN ISO 22476-4 pressiomètre Ménard
    - EN ISO 22476-5 dilatomètre flexible
    - EN ISO 22476-6 pressiomètre autoforeur
    - EN ISO 22476-7 essai de pression latérale
    - EN ISO 22476-8 pressio-pénétromètre

Et aussi :

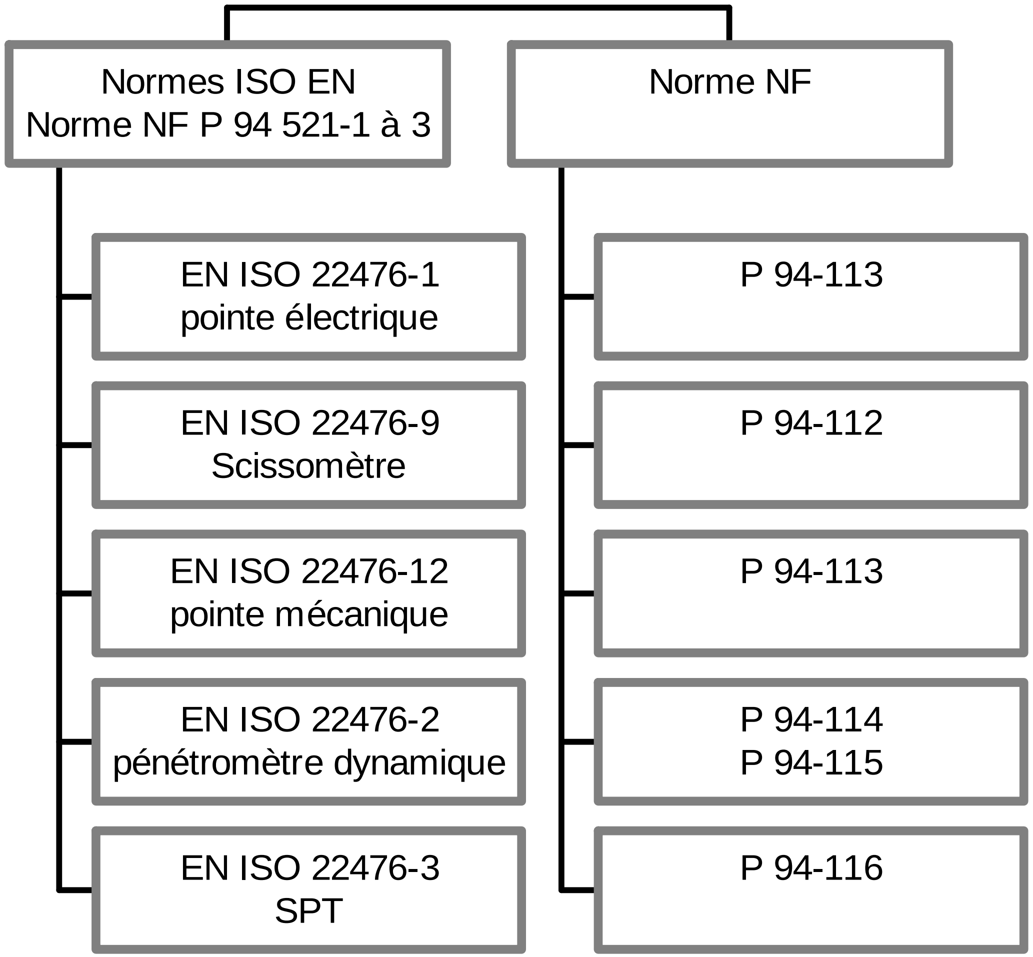
EN ISO/TS 22476-10 ou P 94-521-10 WST,
EN ISO/TS 22476-11 ou P 94-521-11 DMT
EN ISO/TS 17892-1 à 12 ou P 94-512-1 à 12 essais de labo

Normalisation

- Norme ISO CEN
  Norme NF P 94-513-1 à 6
  - EN ISO 22475-1
    prélèvement et essais d'eau
  - TS 22475-2
    Qualif pers. et entreprises
  - TS 22475-3
    Certification pers. et entreprises
  - EN ISO 22282-1
    règles générales
  - EN ISO 22282-2
    essai perméabilité en forage
  - EN ISO 22282-3
    essai de pression d'eau
  - EN ISO 22282-4
    essais de pompage
  - EN ISO 22282-5
    inflitromètres
  - EN ISO 22282-6
    systèmes avec packer
- Norme NF
  - P 94-202 P 94-119
    P 94-157-1 et 2
  - P 94-131
    P 94-132
  - P 94-130
  - X 30-418
    X 30-419

$\alpha < 5°$
Ca < 15%
Ø peut être < 75mm

Normalisation



LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Normalisation

- Norme ISO EN
  Norme NF P 94-521-4 à 8
  - EN ISO 22476-4 pressiomètre Ménard
  - EN ISO 22476-5 dilatomètre flexible
  - EN ISO 22476-6 pressiomètre autoforeur
  - EN ISO 22476-7 essai de pression latérale
  - EN ISO 22476-8 pressio-pénétromètre
- Norme NF
  - P 94 110-1
  - P 94 443-1

Méthode manuelle
Double hyperbole
Plus de sols
Calcul d'incertitudes

Normalisation

Boring technique / Soil Type	1< $d_f/d_0 \leq$ 1,15											($d_f/d_0 \approx 0$)
	Rotary Drilling					Rotary percussion			Pushing, driving or vibrodriving			Full displac.
	HA	CFA *	ADM *	DTM	CD	RP	RPM	STDTM	PS	DS	VDS	DST
Sludge and soft clay	–	–	*** ○	** ○	–■		–	–	*** TWS	–		*■
Soft to medium stiff clayey soils	**■	**■	*** ○	*** ○	**■	–	*■ ○	* ○	*■	*	–	
Stiff clayey soils		***	**■ ○	*** ○	*** ○	*■	** ○	**■ ○	–	*■	–	
Silty soils: - above water table	**	**	*** ○	** ○	**■ ○	–	* ○	** ○	*■	*	*	–
- below water table	–	–	**■ ○	*■ ○	*■ ○	–	* ○	**▲ ○	–	–	–	*■
Loose sandy soils : - above water table	**	**	***■ ○	** ○	*	–	* ○	* ○	–■	–	–	–
- below water table	–	–	** ○	*■ ○	–■	–	* ○	*▲ ○	–■	–	–	*■+
Medium dense and dense sandy soils	**	***	*** ○	*** ○	* ○	*	** ○	**▲ ○	–	*	*	**■+
Coarse soils : gravels, cobbles		–■	–■ ○	** ○	–■	*	*** ○	*■ ○		*	*	***■+
Coarse soils with cohesion (e.g. boulder clay)		*	* ○	** ○	**■ ○	*	*** ○	*■ ○		*	*	
Loose non homogeneous soils, non textbook soils (e.g. tills, some alluvial deposits, man made soils, treated or untreated fills …)		*	* ○	** ○	* ○	*	** ○	**■ ○	–	*	*	**■+
Weathered rock, Soft rock		**	** ○	*** ○	**■ ○	*■	** ○	**■ ○		*■	*■	
Rock (*see note below*)				*** ○	*** ○	***	*** ○					

Normalisation

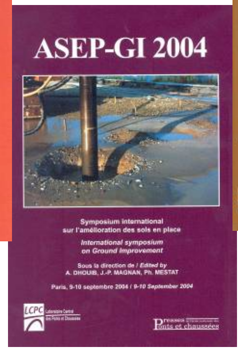
- Travaux en cours
  - WG1
    - Conductivité thermique
    - Paramètres de forage
    - Monitoring : inclinomètres
  - WG5
    - Phicomètre
    - Pressiomètre avec cycle
  - WG6
    - Toutes les normes d'essais de labo

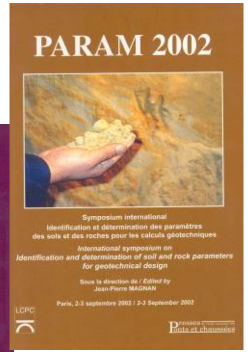
Merci

- Pour aller plus loin

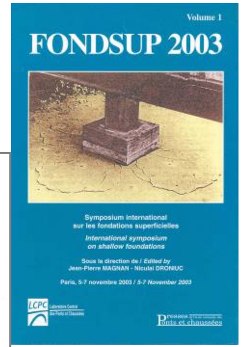


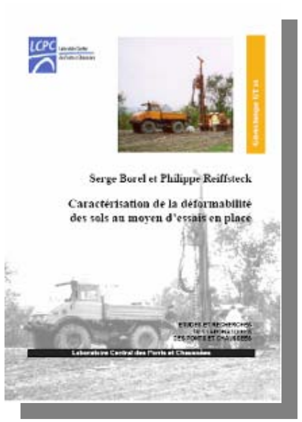


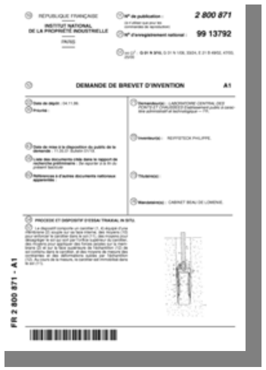














Conclusions

- Ne jetez pas tout => musée ou expo Pressio2005
- Fonctionner en réseau, maintenir expertise
- Faire remonter info/besoins/questions techniques à DTGéo LCPC
  - Jean-Pierre Magnan
  - Emmanuel Manier
- Proposer des fiches recherches et/ou développement